SCIENCES ET AVENIR
La Recherche
Numéro double

© MATTES RENÉ / HEMIS.FR - ALAMY/ PHOTO12 - G.SOUVANT/AFP - M.FACHE/ITEM - BAITEL/SIPA - R.MATTES/HEMIS.FR

COMMENT SE PROTÉGER DU MOUSTIQUE TIGRE
p.72

100 TRÉSORS SCIENTIFIQUES

à découvrir en France p.24

PATRIMOINE

PRÉHISTOIRE

LIEUX DE SCIENCE

NATURE...

+ Exclusif

SUIVEZ LES BALADES DE NOS GRANDS SAVANTS

YVES COPPENS

JUILLET - AOÛT 2021 - N° 893 - 894 - ALLEMAGNE 7,40 € / AUTRICHE 6,50 € / ITALIE 5,70 € / LUXEMBOURG 5,70 € / GRÈCE 5,70 € / BELGIQUE 5,70 € / ESPAGNE 5,70 € / DOM 5,90 €/ DOM-AVION 7,90 €/ ANDORRE 5,40 € / PORTUGAL 5,70 € / TOM 880 XPF / ILE MAURICE : 8,80€ / SUISSE 9,50 CHF / TUNISIE 11 TND / MAROC 55 DH / CANADA-USA 10,50 $

L 13418 - 893 - F: 6,50 € - RD

SCIENCES ET AVENIR / LA RECHERCHE - N° 893/894 - JUILLET - AOÛT 2021 - FRANCE : LES 100 TRÉSORS SCIENTIFIQUES

INFUSEZ LE CHANGEMENT

BOUTEILLES EN **100%** PLASTIQUE RECYCLÉ+

fuzetea

Toute la gamme fuzetea a désormais des bouteilles fabriquées à partir de 100% de plastique recyclé, soit une emprunte carbone réduite de 70% pour chaque bouteille.**

1300 TONNES DE PLASTIQUE VIERGE ÉCONOMISÉES PAR AN

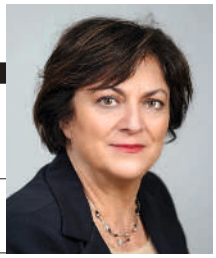
*Boisson à l'infusion de thé noir concentrée, saveur pêche, thé et hibiscus, avec sucre et édulcorant.
+Sauf bouchon et étiquette (recyclables mais pas recyclés)
**Source : Ademe 2017

fuzetea

© 2021 DP Beverages. Fuze Tea est une marque déposée de DP Beverages - Coca-Cola Services France, SAS au capital de 50 000 Euros - 404 421 083 RCS Nanterre.

POUR VOTRE SANTÉ, ÉVITEZ DE MANGER TROP GRAS, TROP SUCRÉ, TROP SALÉ. WWW.MANGERBOUGER.FR

Dominique Leglu
Directrice éditoriale



BERNARD MARTINEZ

L'interconnexion du monde

Bas les masques. Haut les cœurs ! Parce qu'il rime avec liberté, cet été — le deuxième post-confinement-couvre-feux — pousse comme jamais à s'interroger sur l'avenir après la pandémie. Vu son titre, notre magazine *Sciences et Avenir - La Recherche* vit avec passion cette interrogation permanente sur ce qui est… à venir. Non comme un destin qui serait écrit d'avance mais comme ce que nous, individus citoyens, sociétés, États… avons les moyens de faire advenir. Par les avancées scientifiques ; par la réflexion éthique, qui doit les accompagner ; par les innovations qui en découlent et bouleversent notre société.

Numérique à l'accéléré. C'est une évidence pour chacune et chacun d'entre nous que 2020-2021 auront vu se déployer tous azimuts l'usage du numérique : pour sa santé — trouver où se faire vacciner, consulter son médecin ; pour son travail — et vous, avez-vous aussi œuvré en télétravail ? pour se nourrir, physiquement et intellectuellement — avez-vous commandé vos dîners à distance ? Consulté les sites des musées proposant de magnifiques visites virtuelles ?

Fake news et vulnérabilité. Cet impact (terme tendance) de la pandémie, les institutions scientifiques, les organisations internationales, aussi bien l'OMS que l'OMC et nombre d'ONG, les grandes entreprises, les gouvernements eux-mêmes veulent en faire un tremplin. De quoi sauter dans une période où leurs priorités vont s'affirmer. Avec cette prise de conscience, à un niveau inégalé, de l'interconnexion générale du monde. Qu'il s'agisse de l'échange de connaissances scientifiques ou de la circulation des informations générales, avérées ou *fake news*. Qu'il s'agisse de la position des humains au sein du vivant. À l'heure où les écosystèmes sont bouleversés — déforestation, pollution, dérèglement climatique — saute aux yeux notre vulnérabilité face aux zoonoses, des maladies que les animaux peuvent nous transmettre. Et les scientifiques qui prônent ce qu'ils ont baptisé « One Health » — une seule santé, des plantes et animaux jusqu'à *Homo sapiens* — sont désormais écoutés. Ils alertent et peuvent donner les clés d'une meilleure prévention. Il leur reste cependant beaucoup à faire. À preuve, l'impossibilité de préciser la source exacte du virus Sras-CoV-2, ce qui attise la colère de nombre d'entre eux.

COP 15 et COP26. Projetons-nous. Si elles ont bien lieu, les méga-réunions internationales sur la biodiversité (COP15 à Kunming, Chine, en octobre) et le climat (COP26 à Glasgow, Royaume-Uni, en novembre) vont rappeler que les solutions pour la société ont besoin, en amont, d'une habile multidisciplinarité : des écologues et virologues aux généticiens, en passant par les mathématiciens ou climatologues… Et aussi des psychologues, sociologues, économistes, historiens… Il est crucial que les scientifiques les plus pointus, grands connaisseurs de leur spécialité, soient eux aussi interconnectés. Avec respect, certes, pour les méthodes de travail de chacun, temps long et temps court, petites équipes et grands réseaux. Mais pour que liberté rime aussi avec créativité. ■ @dominiqueleglu

COURRIER

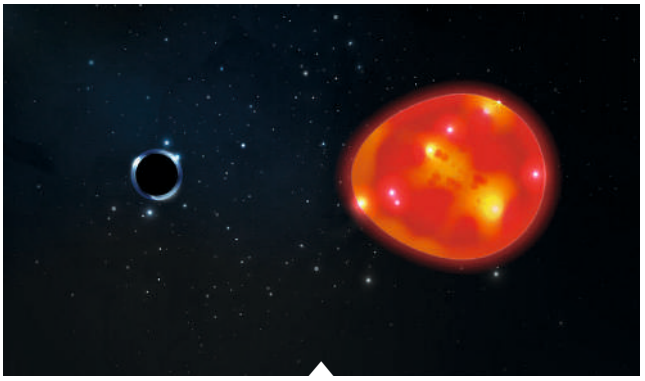
Courriels à : **courrier-lecteurs@sciencesetavenir.fr**

Masse ou densité

Dans l'article « Un petit trou noir découvert près de la Terre » (*S. et A.* n° 892), bien sûr, c'est sa densité très élevée qui fait de cet objet céleste un trou noir, mais s'il déforme l'étoile autour de laquelle il gravite, n'est-ce pas en raison de sa masse élevée plutôt que de sa densité ?

Jean-Claude Poizat

S. et A. : Non, la très forte attraction gravitationnelle du trou noir ne dépend pas de sa masse, mais bien uniquement de sa densité. Ainsi, un trou noir de 10 masses solaires par exemple n'exercera pas du tout la même force d'attraction qu'une étoile de même masse. Car le gradient de la force sera beaucoup plus fort dans le cas du trou noir. Pour comprendre, prenons l'analogie suivante. Vous êtes au sommet d'une colline. Devant vous, un chemin serpente doucement jusqu'en bas. Un peu plus loin, la colline devient une falaise abrupte. Vous avez donc deux façons de descendre : en prenant le sentier, ou en sautant de la falaise. Vous voyez bien que l'effet ne sera pas le même ! Eh bien la falaise, c'est le trou noir. Le chemin, c'est l'étoile. Dans les deux cas, vous arrivez au même point (l'altitude servant ici d'analogie avec la masse), mais pas du tout de la même façon.



OHIOSTATE ILLUSTRATION; LAUREN FANFER

Le trou noir de 3 masses solaires déforme en ballon de rugby l'étoile autour de laquelle il gravite.

Présent universel

Dans l'article « Grosse colère pour Proxima du Centaure » (*S. et A. n° 892*), il est dit que l'étoile a connu une forte éruption le 1er mai 2019. L'astre étant situé à environ 4 années-lumière de la Terre, une éruption le 1er mai 2019 ne pourrait être observée que le 1er mai 2023 au plus tôt.

Michaël Zanon

S. et A. : Vous pointez le fait, bien connu des physiciens, qu'il est impossible de définir un présent universel. En effet, l'éruption a été vue le 1er mai 2019 et l'étoile étant à 4 années-lumière de la Terre, elle a eu lieu en réalité le 1er mai 2015. Mais dit comme cela, il deviendrait vite impossible de faire de la science. Aucune étoile n'étant à la même distance de la Terre, il faudrait convertir toutes les dates. Ce qui donnerait des publications du genre : « Des chercheurs viennent d'observer une supernova il y a 2 millions d'années. » On voit bien que quelque chose cloche… Tout événement s'inscrit dans notre présent. Or qu'est-ce qui définit la survenue d'un événement ? Le fait qu'on l'observe ! Autrement dit le moment où sa lumière nous parvient. Voilà pourquoi cette éruption a bien eu lieu le 1er mai 2019, pour nous, Terriens !

Empreinte humaine et paysages

En page 24 de votre n° 892 (juin 2021), je relève le condensé d'une étude selon laquelle les humains auraient *« déjà façonné 72,5 % des terres de la planète il y a 12 000 ans »*. À cette date, la population mondiale pouvait être estimée à quelques millions au maximum. Dans ces conditions, on ne voit pas comment l'empreinte humaine aurait pu être si importante.

Alain Bouchet

S. et A. : Les chercheurs utilisent une reconstruction cartographique de la répartition des populations humaines et de l'utilisation des terres sur les 12 000 dernières années. Mais les 72,5 % de terres façonnées à l'époque ne l'étaient pas de la façon où on l'entend aujourd'hui. Les activités diffuses, qui représentent la majorité de cette empreinte humaine millénaire, sont ceux où moins de 20 % des surfaces font l'objet d'une activité intensive (la forêt amazonienne par exemple). Les habitats « intensifs » (zones urbaines, agricoles irriguées ou en pâturage) sont alors très minoritaires.

Précision

NITRATES Dans l'article « L'eau, ça ne coule pas toujours de source » (*S. et A.* n° 891, mai 2021), la phrase concernant la teneur en nitrate dans l'eau du robinet doit être lue comme suit : « Dans certaines zones géographiques (Bretagne, Centre-Val-de-Loire, Pays de la Loire, Nouvelle-Aquitaine), les eaux peuvent dépasser lors de périodes plus ou moins courtes la norme de 50 mg/l de nitrates, auquel cas, elles ne doivent pas être bues par les femmes enceintes et les nourrissons. »

RENTRÉE 2021-2022

le cnam

Penser et gérer **l'innovation** dans les organisations privées et publiques

*Une offre riche de **masters** en formation continue*

- **Enseignement supérieur : recherche et développement de l'innovation**
- **Management de l'innovation et de la conception innovante**
- **Médiation : science, technique et innovation en société**
- **Organisations et transitions vers un développement durable**

Début des enseignements : fin septembre 2021

Réunions d'information virtuelles et inscription sur candidature **innovation.cnam.fr**

SCIENCES ET AVENIR
La Recherche

SERVICE ABONNEMENT
et anciens numéros
Tél. : 01.55.56.71.48
Sciences et Avenir 45, avenue du Général-Leclerc 60643 Chantilly cedex
abonnements@sciencesetavenir.fr

Tarif des abonnements : France, 1 an simple (12 numéros dont un double) : 35 €. 1 an complet (12 numéros dont un double + 4 hors-séries) : 48 €. Étranger : nous consulter.
Abonnements Belgique : Edigroup : tél. 00.32.70.233. 304
Abonnements Suisse : Edigroup : tél. 00.41.22.860.84.01

Pour joindre la rédaction :
41 bis, avenue Bosquet 75007 Paris
Tél. : 01.55.35.56.01.
E-mail : redaction@sciencesetavenir.fr
Site Internet : sciencesetavenir.fr

Directrice éditoriale Dominique LEGLU - 01.55.35.56.02
Directrice de la rédaction Carole CHATELAIN - 01.55.35.56.57
assistée de Valérie PELLETIER - 01.55.35.56.01
Rédacteurs en chef Mathieu NOWAK (mensuel) - 01.55.35.56.38
Philippe PAJOT (La Recherche) - 01.70.98.19.29
Vincent REA (hors-série) - 01.55.35.56.35
avec Florence LEROY - 01. 55.35.56.36
Olivier LASCAR (digital) - 01.55.35.56.15
Adjoint à la rédaction en chef
Laurent PERICONE (édition) - 01.55.35.56.10
Rédacteur(trice)s en chef adjoint(e)s
Vincent GLAVIEUX (La Recherche) - 01.70.98.19.32
Andreina DE BEI (photo) - 01.55.35.56.31
Lise LOUMÉ (digital) - 01.55.35.56.39
Directeur(trice)s artistiques
Dominique PASQUET (couverture) - 01.55.35.56.59
Jean-Louis GILABERT - 01.55.35.56.28
Thalia STANLEY (adjointe) - 01.55.35.56.21
Secrétaire générale de la rédaction
Véronique MESSAGER - 01.55.35.56.18
Conseillère auprès de la direction de la rédaction
Rachel MULOT (cheffe de services enquêtes) - 01.55.35.56.07
Chef de service adjoint Hervé RATEL (actualités) - 01.55.35.56.45
Chef(fe)s de rubrique
Mathias GERMAIN (biologie, médecine, santé) - 01.70.98.19.33
Sylvie RIOU-MILLIOT (médecine, santé) - 01.55.35.56.54
Hugo JALINIÈRE (actualités, médecine) - 01.55.35.56.52
Rédaction Bernadette ARNAUD grande reporteure (archéologie, histoire) - 01.55.35.56.44
Franck DANINOS (fondamental) - 01.55.35.56.78
Arnaud DEVILLARD (numérique, data) - 01.55.35.56.27
Sylvie ROUAT (espace, océanologie) - 01.55.35.56.40
Collaborateurs(trices) Sylvie BOISTARD, Loïc CHAUVEAU, Johan KIEKEN, Fabrice NICOT
Chroniqueurs A. Alvarez, Jean-Gabriel Ganascia, Céline Guivarch
Ont participé à ce numéro Pierre BERLOQUIN, Edwyn GUÉRINEAU, Pierre KALDY, Léa FOURNASSON
Secrétaire de rédaction
Frank MIETTON (1re secrétaire) - 01.55.35.56.17
Maquette Horia BAHRI - 01.55.35.56.19
Photo-iconographie Isabelle TIRANT - 01.55.35.56.32
Claire BALLADUR - 01.70.98.19.41
Pôle digital Marine BENOIT (fondamental, archéologie) - 01.55.35.56.23 - Valentin COLLIAT-DANGUS (community manager) - 01.55.35.56.70 - Camille GAUBERT (santé) - 01.55.35.56.24 - Joël IGNASSE (espace, paléontologie) - 01.55.35.56.15 - Coralie LEMKE (santé) - 01.55.35.56.56
Anne-Sophie TASSART (cheffe de rubrique) - 01.55.35.56.41
Clémence BAUDOIN - responsable projets digitaux
Jessica RIOS - cheffe de projet digital
Documentation Isabelle DO O'GOMES (cheffe de service) - 01.55.35.56.49 - Astrid SAINT AUGUSTE - 01.55.35.56.48
Courrier des lecteurs
Sara DE LACERDA - courrier-lecteurs@sciencesetavenir.fr
Informatique Daniel DE LA REBERDIÈRE - 01.55.35.56.06
Directeur général Philippe MENAT
Responsable administrative et financière Jaye REIG - jreig@challenges.fr
Comptabilité - compta@challenges.fr
Responsable ressources humaines Sandrine MARTIN - smartin@challenges.fr
Fabrication Christophe PERRUSSON
Publicité MediaObs. 44, rue Notre-Dame-des-Victoires 75002 Paris Tél. : 01.44.88.97.70. Fax : 01.44.88.97.79.
Courriel : l'initiale du prénom puis nom suivi de @mediaobs.com
Directrice générale Corinne ROUGÉ - 01.44.88.93.70 - assistée de Marie-Noëlle MAGGI - 01.44.88.93.70
Directeur délégué Philippe LÉONARD - 01.44.88.89.18
Directeur de publicité Sylvain MORTREUIL - 01.44.88.97.75
Exécution : Cédric AUBRY - 01.44.88.89.05
Administration des ventes Catherine FERNANDES - 01.44.88.89.20
Directeur commercial Valéry SOURIEAU
Directeur des abonnements Luc BONARDI
Responsable des abonnements Lina QUACH - 01.55.35.56.63
Sciences et Avenir SAS
Président, Directeur de la publication : Claude PERDRIEL
Secrétaire général Jean-Claude ROSSIGNOL
Multimédia Sciences et Avenir, 41 bis, avenue Bosquet, 75007 Paris. - Tél. : 0155355600

Origine du papier : Italie - Taux de fibres recyclées : 0 %
Eutrophisation : PTot = 0,017 kg/tonne de papier
Ce magazine est imprimé chez Roto France (Lognes), certifié PEFC

Certifié PEFC
Ce produit est issu de forêts gérées durablement et de sources contrôlées.
PEFC 10-31-1557 pefc-france.org

ACPM DIFFUSION

Les noms et adresses de nos abonnés seront communiqués aux organismes liés contractuellement avec *Sciences et Avenir*, sauf opposition. Dans ce cas, la communication sera limitée au service de l'abonnement. Ce numéro comporte un encart « Sophia Boutique-barre de son » jeté sur couverture sur toute la diffusion abonnés. Commission paritaire n° 0625 K 79712. ISSN 00368636. Distribué par MLP.

ÉDITO

BERNARD MARTINEZ

Mathieu Nowak
Rédacteur en chef

Partageons nos trésors

« *Les vacances, c'est en France !* » Au vu des tendances de réservation, les Français n'ont pas attendu l'appel du président de la République Emmanuel Macron pour prendre cette décision. Mais ne pas franchir les frontières ne signifie pas se priver de découvertes, bien au contraire. La France métropolitaine comme les territoires d'outre-mer regorgent de lieux fantastiques hors des sentiers battus. Aussi, la rédaction de *Sciences et Avenir-La Recherche* s'est réunie pour partager avec vous ses « jardins secrets ». Des lieux méconnus, où nous aimons retourner. Bien sûr le terme « méconnu » est éminemment subjectif, et les débats pour choisir nos petits trésors furent animés. En en retenant une centaine, nous ne prétendons pas à l'exhaustivité : c'est une sélection que les journalistes qui réalisent tous les mois ce magazine avec passion ont faite « avec le cœur ». Et que nous prolongeons d'une invitation *(p. 57)* : faites-nous part à votre tour de vos trésors scientifiques, nous en publierons une sélection sur notre site Internet. Ensuite, quand vos jambes seront lourdes, prenez place confortablement pour entreprendre une nouvelle promenade dans les pages de ce numéro double. Vous partagerez l'excitation des physiciens face à deux particules dont le comportement pourrait remettre en question un modèle patiemment bâti depuis un demi-siècle et, pourquoi pas, conduire à la découverte de nouvelles particules voire d'une nouvelle force *(p. 58)* ! Vous croiserez des biologistes qui percent les secrets génétiques de la lavande afin que le paysage redessiné par le changement climatique ne prive pas les futures générations du bleu dont se parent les champs en ce moment même *(p. 78)*. Vous voyagerez avec les Scythes, ces mystérieux peuples nomades qui s'étaient imposés sur les steppes d'Asie centrale à l'âge du fer et qui nous ont légué des objets d'une extraordinaire richesse artistique contrastant avec la terrible mais bien imparfaite réputation que leur avaient faite les Grecs *(p. 106)*. Vous entreverrez les espoirs que nourrissent des médecins partout dans le monde pour qu'une pandémie telle que celle que nous affrontons depuis plus d'un an ne se reproduise plus, en misant sur un vaccin à même de nous protéger d'autres coronavirus dont nous ignorons même l'existence *(p. 90)*. Sans oublier nos conseils pour bien manger par grande chaleur *(p. 100)*, se protéger des moustiques *(p. 72)*, profiter des étoiles durant les douces nuits d'été *(p. 124)* et nourrir son esprit de livres et d'expositions sélectionnés par la rédaction *(p. 118)*. Bonnes vacances ! ■ @mathieu_nowak

> **“ Des lieux méconnus ont été sélectionnés « avec le cœur » par les journalistes qui réalisent ce magazine chaque mois ”**

PEUGEOT SPORT ENGINEERED

NOUVELLE 508

PIONEERING PERFORMANCE AGAIN*

360 Chevaux - Hybride Rechargeable - À partir de 46g de CO_2/km(1)

***Prendre encore de l'avance.**

PEUGEOT RECOMMANDE TOTAL **(1) Consommation mixte WLTP (l/100 km) : 2,03 ; Emissions de CO_2 WLTP (g/km) : 46.**

(1) Les valeurs de consommation de carburant, d'émissions de CO_2 et d'autonomie indiquées sont conformes à la procédure d'essai WLTP sur la base de laquelle sont réceptionnés les véhicules neufs depuis le 1er septembre 2018. Cette procédure WLTP remplace le cycle européen de conduite (NEDC), qui était la procédure d'essai utilisée précédemment. Les conditions d'essai étant plus réalistes, la consommation de carburant et les émissions de CO_2 mesurées selon la procédure WLTP sont, dans de nombreux cas, plus élevées que celles mesurées selon la procédure NEDC. Les valeurs de consommation de carburant, d'émissions de CO_2 et d'autonomie peuvent varier en fonction des conditions réelles d'utilisation et de différents facteurs tels que : la fréquence de recharge, le style de conduite, la vitesse, les équipements spécifiques, les options, les types de pneumatiques, la température extérieure et le confort thermique à bord du véhicule. Veillez à vous rapprocher de votre point de vente pour plus de renseignements. Plus d'informations sur peugeot.fr. Automobiles PEUGEOT 552 144 503 RCS Versailles.

TW 080 XH

Allianz

Regardez vos investissements évoluer en même temps que les énergies renouvelables.

Avec le contrat Allianz Vie Fidélité, vous pouvez donner du sens à votre épargne. Allianz vous offre l'opportunité d'investir* dans des secteurs comme les énergies renouvelables, l'agriculture, la santé ou encore l'éducation. Vous contribuez ainsi au développement de projets concrets et utiles pour vous et les générations à venir.

Prenez rendez-vous dès maintenant avec un conseiller pour en discuter.

Allianz.fr/assurance-vie/

Realisation : Agence Pschhh - Crédit photo : © Getty Images / Photographe : kamisoka.

*Investissements via des supports en unités de compte. En investissant sur des supports en unités de compte vous profitez du potentiel de performances des marchés financiers, mais vous prenez un risque de perte en capital. En effet, Allianz s'engage sur le nombre d'unités de compte, mais ne garantit pas leur valeur. Celle-ci est soumise à des fluctuations, à la hausse comme à la baisse, en fonction de l'évolution des marchés financiers.

Allianz Vie Fidélité est un contrat d'assurance vie de groupe à adhésion facultative de type multi-support.
Allianz Vie - Entreprise régie par le Code des assurances - Société anonyme au capital de 643 054 425 € - Siège social : 1, cours Michelet - CS 3005 - 92076 Paris La Défense Cedex - 340 234 962 R.C.S. Nanterre. Document à caractère publicitaire.

SOMMAIRE

Sciences et Avenir - La Recherche / N° 893-894 / Juillet-Août 2021

DOSSIER P. 24

France
100 trésors scientifiques

Redécouvrir la France et ses lieux extraordinaires méconnus, pétris d'histoire et de science, c'est ce que nous vous proposons cet été. La rédaction de « Sciences et Avenir-La Recherche » s'est mobilisée pour vous ouvrir ses jardins secrets. Laissez-vous surprendre !

3 **Éditorial** par Dominique Leglu

4 **Courrier**

5 **Édito** par Mathieu Nowak

SCIENCES FONDAMENTALES

10 **ACTUALITÉS** / Le centre de la galaxie dévoilé / La traque de l'énergie noire est relancée / Le tardigrade finit par céder à la pression

58 **Deux particules bousculent la physique**

62 **Préparer les équipes olympiques à décrocher des médailles**

66 **« Deepfakes », la traque aux vidéos truquées est ouverte**

70 **Une microseconde après le Big Bang, l'Univers était liquide**

NATURE

14 **ACTUALITÉS** / Un lézard champion d'apnée / Risque de sécheresse dans les nappes phréatiques / Sans champignons, il n'y aurait pas de plantes

72 **À l'assaut du moustique-tigre**

78 **La quête d'une super-lavande**

82 **Contre la pollution, les croisières hissent les voiles**

SANTÉ

18 **ACTUALITÉS** / Un nouveau traitement contre Alzheimer / Les neurones de la curiosité ont été identifiés / Des règles assouplies pour étudier l'embryon humain

86 **Comment se libérer des vertiges**

90 **Coronavirus : l'espoir d'un vaccin universel**

94 **Un aveugle recouvre la vue grâce à une thérapie génique**

Les stratégies de lutte contre le moustique-tigre implanté en France métropolitaine **p. 72**

Reportage à Marseille, dans un service spécialisé dans la prise en charge des vertiges **p. 86**

La génétique révèle les origines des Scythes, des cavaliers et orfèvres hors pair. **p. 106**

96 **Dossier spécial : cinq questions pour mieux protéger sa peau en été**

100 **Nutrition : Avec les fortes chaleurs, les aliments fraîcheur font recette**

HISTOIRE

22 **ACTUALITÉS** / Quand Angkor était la cité la plus peuplée au monde / La culture du pavot à opium est née en Suisse / Ce dinosaure australien était un titan

106 **L'origine des Scythes révélée par la génétique**

110 **Et le cerveau humain fut…**

113 **Éric Crubézy : « Il n'existe pas de tombes préhistoriques »**

RENDEZ-VOUS

114 **La Recherche Entretien avec Éric Guilyardi : « L'océan est un thermostat géant pour la planète »**

118 **La Recherche Autour d'un livre**

120 **Sélection livres**

122 **Expositions**

124 **Les ciels de juillet et d'août**

126 **Questions de lecteurs**

128 **La Recherche Jeux**

130 **La Recherche Solutions des jeux**

La Recherche RETROUVEZ NOS CHRONIQUES

71 **Maths : Aurélien Alvarez**

83 **Climat : Christophe Cassou et Céline Guivarch**

117 **Éthique : Jean-Gabriel Ganascia**

F. CHAREL/HEMIS.FR - CDC/BSIP - J-M. HURON/SIGNATURES POUR SCIENCES ET AVENIR/LA RECHERCHE - GETTY IMAGES

Le centre de la Galaxie dévoilé

Un cliché révèle à quel point le cœur de la Voie lactée est tourmenté.

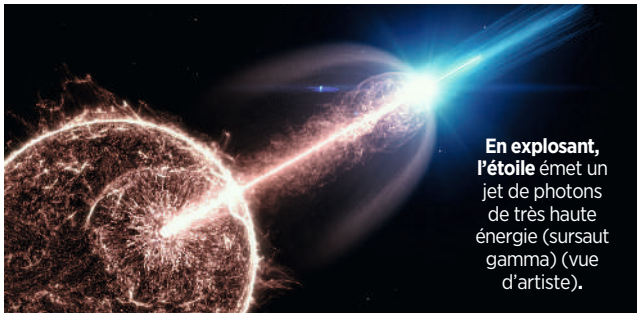
La partie la plus brillante au centre correspond au trou noir supermassif Sagittarius A*.

X-RAY: NASA/CXC/UMASS/Q.D. WANG; RADIO: NRF/SARAO/MEERKAT

ASTRONOMIE Un feu d'artifice cosmique ! C'est ce que dévoile une image inédite *(ci-dessus)* du centre de la Voie lactée, à 25 000 années-lumière de la Terre, captée par l'observatoire Chandra de la Nasa. Elle a été réalisée à partir de prises de vue dans différents domaines de longueurs d'onde (X et radio). Photographier le centre de notre galaxie dans ces fréquences permet de voir à travers les immenses nuages de gaz et de poussières qui bloquent la lumière visible, mais laissent passer d'autres longueurs d'onde. Le cliché révèle ainsi à quel point le centre de la Voie lactée est tourmenté. La partie la plus brillante correspond à l'activité du trou noir supermassif, Sagittarius A*, d'environ 4 millions de fois la masse du Soleil. En attirant à lui la matière environnante, il est à l'origine de phénomènes très énergétiques. Toute la région est soumise à une « météo » dantesque : explosions de supernovae, étoiles soufflant au loin leurs gaz brûlants et destruction de matière avalée par le trou noir. L'image a aussi révélé de puissants phénomènes magnétiques, accélérant des particules et les faisant rayonner, contribuant à ce flamboiement cosmique. **F. N.**

EN DEUX MOTS

EXPLORATION. Deux missions américaines, Davinci+ et Veritas, et une européenne, EnVision, devraient partir d'ici à 2030 vers Vénus, planète oubliée des programmes depuis trente ans. **VOL HABITÉ.** Trois taïkonautes (astronautes chinois) sont arrivés à bord de la toute nouvelle station spatiale chinoise jeudi 17 juin pour un séjour de trois mois. **E.T.** Le Pentagone a remis fin juin au Congrès américain un rapport sur les « phénomènes aériens non identifiés » portant sur 120 incidents observés ces 20 dernières années.



DESY, SCIENCE COMMUNICATION LAB

En explosant, l'étoile émet un jet de photons de très haute énergie (sursaut gamma) (vue d'artiste).

Un sursaut gamma vu de près

ASTROPHYSIQUE Les satellites Swift et Fermi ont enregistré un sursaut gamma à seulement un milliard d'années-lumière de la Terre. Ce type d'événement, parmi les plus violents dans l'Univers, correspond à l'effondrement d'une étoile se transformant en trou noir. En général, ces sursauts gamma se produisent au moins 20 fois plus loin. Mais cette fois, le phénomène a pu être décrit avec une précision inédite, bousculant au passage certaines prédictions théoriques. **F. N.**

SOURCE : H. ABDALLA, UNIVERSITÉ DE NAMIBIE.

500 km/s
La vitesse d'un vent galactique

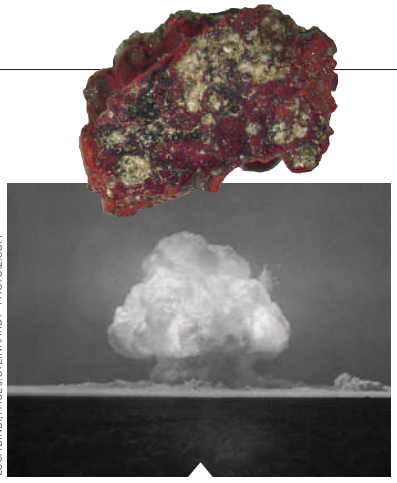
ASTROPHYSIQUE Les trous noirs ne sont pas que des ogres avaleurs de lumière et de matière. Accélérée par l'attraction gravitationnelle de l'astre, cette dernière émet aussi un rayonnement qui chasse poussières et gaz vers l'extérieur. C'est ce « vent galactique » qui a été mesuré pour la première fois à cette vitesse, soit 1,8 million de km/h. **F. N.**

SOURCE : TAKULA IZUMI, OBSERVATOIRE ASTRONOMIQUE NATIONAL DU JAPON.

Des métaux lourds dans l'atmosphère des comètes

ASTRONOMIE Pour la première fois, la présence de métaux lourds — du fer et du nickel — a été détectée dans l'atmosphère de comètes du Système solaire. Une surprise, vues les températures relativement basses qui y règnent, car ces atomes lourds ne se trouvent en général sous forme gazeuse que dans des environnements très chauds. **F. N.**

SOURCE : JEAN MANFROID, UNIVERSITÉ DE LIÈGE, BELGIQUE.



LUCA BINDI, PAUL J. STEINHARDT - PHOTO12.COM

La trinitite rouge (en haut) s'est formée à la suite de l'essai nucléaire américain Trinity en juillet 1945 au Nouveau-Mexique (ci-dessus).

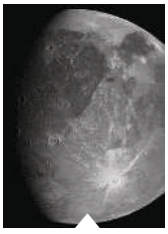
La première bombe atomique a créé un quasi-cristal

NUCLÉAIRE Un matériau extrêmement rare a été identifié dans le cratère de la première explosion atomique, survenue en juillet 1945 dans le désert du Nouveau-Mexique (États-Unis). Ce quasi-cristal doté d'une structure atomique différente des cristaux ordinaires (sucre, neige, etc.) est le premier créé incidemment d'origine humaine. **F. D.**

SOURCE : L. BINDI, UNIVERSITÉ DE FLORENCE, ITALIE.

Un survol en rase-mottes de Ganymède

PLANÉTOLOGIE La sonde américaine Juno qui étudie Jupiter depuis 2016 s'est offert un point de vue unique sur Ganymède, la plus grosse lune de la géante gazeuse. Ce survol en « rase-mottes » à seulement 1038 km de la surface a permis d'acquérir des données sur la croûte glacée du satellite. De quoi préparer le terrain à la mission européenne Juice dédiée à cette lune, qui doit décoller en 2022. **F. N.**



NASA/JPL-CALTECH/SWRI/MSSS

La lune de Jupiter a été survolée à 1038 km.

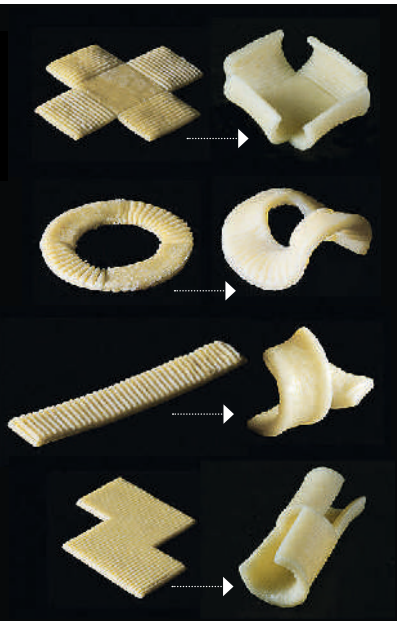
Solar Orbiter saisit sa première éruption solaire

ASTRONOMIE **La sonde européenne Solar Orbiter, lancée en 2020, a capté sa première éruption solaire. Le satellite se trouvant à mi-distance de notre étoile et de la Terre, soit 77 millions de kilomètres, c'est l'observation la plus proche jamais réalisée. L'éruption marque le début d'un cycle solaire de 11 ans, qui devrait culminer en 2025.** **F. N.**

Des pâtes qui changent de forme à la cuisson

PHYSICO-CHIMIE **Fusilli, rigatoni, farfalle… Des chercheurs ont conçu des pâtes alimentaires plates qui se plient ou se torsadent à la cuisson. Objectif : réduire le volume des paquets de pâtes, et donc les coûts liés à leur stockage et transport. Le procédé repose sur de minuscules rainures imprimées dans la pâte, calculées à l'aide de modélisations informatiques. Les surfaces rainurées cuisent et gonflent moins rapidement, produisant les formes désirées. F. D.**

SOURCE : Y. TAO, UNIVERSITÉ CARNEGIE MELLON, ÉTATS-UNIS.



MORPHING MATTER LAB, CARNEGIE MELLON UNIVERSITY

ROMAIN GUITTET/CEA

QUESTIONS À

Nathalie Palanque-Delabrouille

Cosmologiste au CEA et porte-parole de la collaboration DESI

La traque de l'énergie noire est relancée

Inauguré en mai sur le site de Kitt Peak en Arizona (États-Unis), l'instrument DESI (Dark Energy Spectroscopic Instrument) étudie l'énergie noire responsable de l'accélération de l'expansion de l'Univers.

Qu'est-ce que l'énergie noire ?
Ce serait une sorte de fluide aux propriétés répulsives comptant pour 70 % du contenu total de l'Univers. Elle a été imaginée afin d'expliquer l'accélération de l'expansion de l'Univers, découverte en 1998, alors que l'on pensait au contraire que ce taux d'expansion diminuait sous l'influence de la gravitation. Mais tout reste à découvrir sur la nature de cette énergie noire.

Comment DESI va permettre de l'étudier ?
L'instrument déterminera la position précise de 35 millions de galaxies, situées entre un et 12 milliards d'années-lumière, ainsi que des quasars, ces noyaux de galaxies très brillants. En observant leur distribution à diverses époques de l'Univers, nous verrons en quelque sorte l'énergie noire se manifester progressivement, grâce au rôle qu'elle joue sur la répartition de la matière.

Quelles différences y a-t-il entre DESI et d'autres programmes comme Euclid, qui sera lancé en 2022, ou le Dark Energy Survey, opérationnel depuis 2013 ?
Les approches sont complémentaires. DESI voit très loin dans l'histoire de l'Univers. Euclid se contentera d'une période plus restreinte, tout comme le Dark Energy Survey. En revanche, ces deux instruments s'intéresseront aussi de près à la matière noire, tout aussi mystérieuse que l'énergie noire.

Propos recueillis par F. N.

IL A DIT

« Depuis que j'ai 5 ans, je rêve de voyager dans l'espace. Le 20 juillet, je ferai ce voyage avec mon frère »

Jeff Bezos, fondateur d'Amazon, qui s'envolera lors du premier vol spatial de sa fusée Blue Origin.

Une attaque de drone inexpliquée

DÉFENSE Mentionnés en mars dans un rapport d'experts pour le Conseil de sécurité de l'ONU, des Kargu-2, drones armés et autonomes de fabrication turque ont ciblé en 2020 des troupes opposées au gouvernement en Libye. On ignore s'il y a des victimes, d'où vient l'ordre de frappe et même s'il y en a eu un, ou si les drones ont opéré en mode autonome. **A. D.**

Premier essai de robots lunaires ouvriers

DFKI. A. POPP

◄ **Les essais** ont eu lieu sur des terrains reproduisant le sol lunaire, en Pologne et Allemagne.

ESPACE Dans la perspective d'installer une base sur la Lune, l'Agence spatiale européenne (ESA) a réalisé avec succès le premier test de trois robots destinés à assurer des tâches d'assemblage et de construction. Ils devront coopérer de façon autonome afin d'exploiter les ressources lunaires. Avec le robot marcheur à six pattes, Mantis, capable d'analyser son environnement grâce à des capteurs intégrés, un rover et un portique mobile équipé d'une imprimante 3D doivent permettre d'utiliser le régolithe (poussière lunaire) pour en extraire de l'oxygène ou comme matériau de construction pour de futurs habitats. **H. J.**

SCIENCE PHOTO LIBRARY

« Hypsibius dujardini » ne peut pas survivre à des impacts de plus de à 0,9 km/s.

Le tardigrade finit par céder à la pression

Des chercheurs ont multiplié les tests pour connaître le seuil de résistance de ces micro-organismes réputés indestructibles.

ASTROBIOLOGIE Malgré leurs incroyables capacités à survivre dans des environnements extrêmes, les 1000 tardigrades présents à bord de la sonde israélienne Bereshit n'ont pas pu survivre au crash de celle-ci sur la Lune le 11 avril 2019. C'est la conclusion d'une étude publiée dans *Astrobiology* par deux chercheurs de l'université de Kent (Royaume-Uni). Pour s'en convaincre, ils ont transformé en munitions ces organismes à huit pattes de moins d'un millimètre capables notamment de supporter des températures de -272 °C à 150 °C ou des pressions 1200 fois plus importantes que celle qui règne sur Terre. Les scientifiques ont ainsi placé des tardigrades *Hypsibius dujardini* dans un canon à gaz utilisant de la poudre à canon et de l'hydrogène hautement comprimé pour simuler des impacts de débris orbitaux sur des engins spatiaux. Une fois le canon chargé, ils ont visé des cibles en sable... et tiré.

Les résultats de l'expérience montrent que les tardigrades peuvent survivre à des impacts inférieurs à 0,9 km par seconde, soit l'équivalent d'une pression lors du choc de 1,14 gigapascal. Au-delà, leur corps est disloqué. Or les spécimens qui voyageaient dans la sonde Bereshit ont subi une pression bien supérieure. **A.-S. T.**

CREATIVE MACHINES LAB/COLUMBIA ENGINEERING

◄► **L'humanoïde** reproduit les expressions d'un humain qu'il identifie grâce à une caméra et à un système de vision informatisé.

Des robots s'entraînent à imiter nos expressions faciales

ROBOTIQUE EVA est un projet complexe de tête humanoïde recouverte d'une peau synthétique. Le robot a été entraîné par apprentissage profond à reproduire les expressions d'un visage qu'il repère et identifie chez un interlocuteur humain grâce à une caméra et un système de vision par ordinateur. À l'intérieur, moteurs et mécanismes animent les zones du visage pour façonner des expressions faciales générées automatiquement par le robot. **A. D.**

SOURCE : BOYUAN CHEN, UNIVERSITÉ COLUMBIA, NEW YORK, ÉTATS-UNIS.

Livebox Up Fibre Série Limitée : Fibre + TV + OCS + Netflix

Le prix comprend l'offre Livebox Up à 29,99€/mois avec 15€ de remises et 5€ remboursés (au lieu de 49,99€/mois)(1) et le Pack OCS + Netflix Standard HD à 10€/mois(2) (au lieu de 20,99€/mois).

Offre soumise à conditions, valable en France métropolitaine du 3 juin au 18 août 2021, sous réserve d'éligibilité, pour toute 1re souscription Internet avec changement d'opérateur. Engagement 12 mois. Frais d'activation du décodeur : 40€. L'accès au service Netflix Standard HD (2 écrans simultanés) nécessite une création et une activation auprès de Netflix. Frais de résiliation Livebox : 50€.

(1) Remboursement différé sur facture avec changement d'opérateur après le 03/04/2021 (détail et formulaire sur odr.orange.fr).
(2) Remise exclusivement valable pour toute 1re souscription. Perte de la remise en cas de changement d'offre ou de résiliation.

orange™

Un lézard champion d'apnée

Certaines espèces utilisent une bulle d'air qui se forme sur leur tête pour respirer sous l'eau.

LINDSEY SWIERK

Située au-dessus des narines, la bulle remplie d'oxygène permet au lézard de rester sous l'eau durant dix-huit minutes.

HERPÉTOLOGIE Jusqu'à dix-huit minutes ! C'est le temps durant lequel certains lézards du genre *Anolis* sont capables de rester sous l'eau. Leur secret : une « bulle » d'air entre la peau et l'eau qui leur permet de respirer comme avec une bouteille de plongée. Elle peut être collée près des yeux ou prendre la forme d'une goutte au-dessus des narines. Quant au CO_2 expiré par les reptiles, l'équipe internationale qui publie cette découverte dans *Current Biology* pense qu'il est dissous dans l'environnement marin, ce gaz étant extrêmement soluble. Il est aussi possible que de l'oxygène présent dans l'eau pénètre dans la bulle permettant de prolonger la plongée — une hypothèse qui demande à être confirmée. « *Il est trop tôt pour dire si cette technique de "réinhalation" conduira à des innovations pour l'humain mais le biomimétisme peut être une idée intéressante dans plusieurs domaines — y compris la technologie de la plongée sous-marine* », assure Chris Boccia, chercheur à l'université de Toronto (Canada) et coauteur de l'étude. **A.-S. T.**

EN DEUX MOTS

CLIMAT. La teneur en oxygène des lacs a diminué de 18,6 % dans les eaux profondes depuis 1980 sous l'effet du réchauffement selon une étude américaine. **RÉAPPARITION.** Des analyses ADN confirment que la tortue géante découverte en 2019 aux Galapagos (Équateur) appartient bien à une espèce qu'on pensait éteinte depuis un siècle. **BRACONNAGE.** La police du Bangladesh a arrêté un braconnier recherché depuis vingt ans qui aurait tué quelque 70 tigres du Bengale, une espèce menacée.

NATUREPL / EBPHOTO

La trompe de l'animal aspire à la vitesse de 540 km/h.

L'extraordinaire succion des éléphants

BIOMÉCANIQUE Les longues narines des éléphants peuvent se dilater de 30 % et augmenter ainsi le volume nasal de 64 % afin de permettre une aspiration à des vitesses supérieures à 150 mètres par seconde, soit 540 km/h ! C'est ce pouvoir de succion qui donne sa « dextérité » à la trompe, capable de saisir des aliments très fragiles sans les casser, comme les chips de 500 micromètres d'épaisseur utilisées lors des expériences. **A.-S. T.**

SOURCE : ANDREW SCHULZ, GEORGIA TECH, ÉTATS-UNIS.

50 milliards

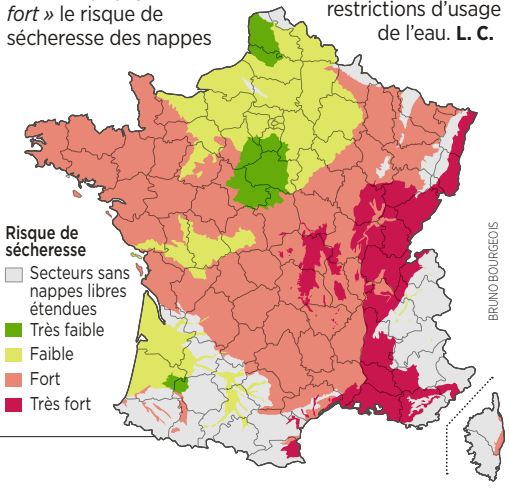
Le nombre d'oiseaux sur Terre

BIODIVERSITÉ Cette estimation de grande envergure a pris en compte 92 % des espèces existantes, soit 9700 sur les 9990 connues. Les 8 % d'espèces manquantes sont trop rares pour être comptées de façon fiable. **A.-S. T.**

SOURCE : UNIVERSITÉ DE NOUVELLE-GALLES DU SUD, AUSTRALIE.

Risque de sécheresse dans les nappes phréatiques

HYDROLOGIE L'été pourrait être difficile pour nombre de nappes phréatiques de l'Hexagone, prévient le Bureau de recherche géologique et minière (BRGM) qui juge *« très fort »* le risque de sécheresse des nappes de la plaine d'Alsace, des couloirs de la Saône et du Rhône, de l'est du Massif Central et du littoral méditerranéen. Attendu plus chaud et sec que la moyenne, l'été devrait ainsi entraîner des restrictions d'usage de l'eau. **L. C.**



BRUNO BOURGEOIS

PUBLICITÉ

Pourquoi privilégier la réparation des appareils électroménagers ?

Chaque année en France, près de 21 kg d'équipements électriques ou électroniques (réfrigérateurs, téléphones, ordinateurs...) sont jetés par habitant(1). Pourtant, dans bien des cas, ils pourraient être réparés. Choisir cette solution, c'est contribuer au prolongement de la durée de vie des produits et participer à la réduction des déchets.

Réduire les déchets

Aujourd'hui, seules 40 % des pannes(2) des appareils électriques et électroniques donnent lieu à une réparation en France. C'est peu, surtout quand on sait que 71 % des achats de lave-linges(3) ont été effectués pour remplacer un appareil tombé en panne.

C'est pourquoi l'État rend désormais obligatoire l'affichage d'un indice de réparabilité pour certains appareils (lave-linge, smartphones, ordinateurs et téléviseurs). Cette note de 0 à 10 permet d'indiquer au consommateur si le produit est réparable, difficilement réparable ou non réparable. Le consommateur peut ainsi faire un achat éclairé, l'objectif étant de passer de 40 % à 60 %(4) de taux de réparation pour les appareils électriques et électroniques d'ici 5 ans.

Économiser des ressources

La réparation permet de prolonger la durée de vie des produits avant qu'ils ne deviennent des déchets mais elle permet aussi d'économiser des matières premières et des ressources énergétiques. Par exemple, pour fabriquer un téléviseur de 30 à 40 pouces, près de 300 kg de matières premières sont nécessaires et sa fabrication engendre l'émission de 374 kg de CO_2(5).

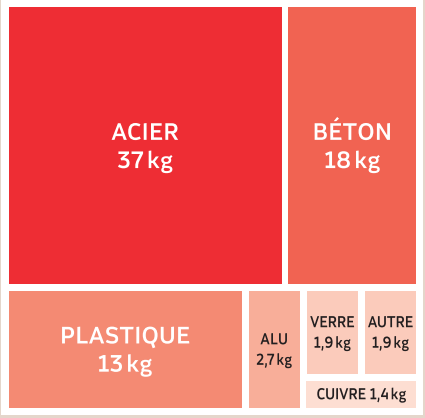
On se retrouve souvent démuni lorsqu'un appareil tombe en panne hors garantie et il paraît alors plus facile de se tourner vers une offre de produit neuf. C'est pour y remédier que MAIF s'implique pleinement dans le développement de solutions pour faciliter l'accès à la réparation.

Depuis 2016, MAIF est partenaire de la Fondation Repair Café, dont elle soutient le développement en France. L'objectif est de changer les mentalités face au gaspillage, combattre l'obsolescence programmée et encourager la solidarité. Le grand public est invité à se former avec des experts bénévoles présents dans le Repair Café(6). Ces passionnés partagent leurs connaissances et permettent un apprentissage par l'expérimentation.

Assurer la panne

MAIF propose à ses sociétaires de réparer les appareils électroménagers de moins de 5 ans en cas de panne lorsque c'est possible(7). Avec cette garantie incluse dans la formule 3 du contrat d'assurance habitation, les appareils remis en état sont plus longtemps utilisables.

Un lave-linge est composé en moyenne de(8) :



MAIF

assureur militant

(1) : Étude de l'Université des Nations Unies - 2017. (2) : Etude de l'Ademe et GIFAM - 2018 - Etat des lieux de l'activité de réparation des appareils électroménagers dans sa relation au produit et à la filière. (3) : 2e édition baromètre Fnac-Darty juin 2019. (4) : Ministère de la transition écologique et solidaire - Dossier de presse : la loi anti-gaspillage dans le quotidien des français : concrètement ça donne quoi ? janvier 2020. (5) : Ademe - « Ces objets qui pèsent lourd dans notre quotidien » - 2018. (6) : Fondation Repair Café Internationale - Panamalaan 4F - 1019 AZ Amsterdam - Inscrite à la Chambre de Commerce néerlandaise, sous le numéro 34383930. (7) : Dans les limites et conditions du contrat. (8) : Étude Ademe - « La face cachée des biens d'équipement » - 2018.

MAIF - Société d'assurance mutuelle à cotisations variables CS 90000 - 79038 Niort cedex 9.
Entreprise régie par le Code des assurances.

AFP

Le rotifère bdelloïde mesure moins d'un millimètre.

Des organismes vieux de 24 000 ans ont été réveillés

MICROBIOLOGIE Un organisme multicellulaire de moins d'un millimètre, le rotifère bdelloïde, est revenu à la vie après avoir été extrait des glaces en Sibérie. La datation révèle qu'il y aurait passé entre 23 960 et 24 485 ans dans un état de dormance. Après avoir été décongelé, l'animal a même pu se reproduire. **H. J.**

SOURCE : LYUBOV SHMAKOVA, UNIVERSITÉ DE SAINT-PÉTERSBOURG, RUSSIE.

AFP

Sous l'effet de l'érosion, la structure naturelle haute de 15 m, située près de la côte des Galapagos, s'est effondrée.

L'arche de Darwin s'est effondrée

GÉOLOGIE L'arche de Darwin n'a pas résisté à l'érosion. Ce pont naturel emblématique de l'archipel des Galapagos (Équateur) où Charles Darwin a élaboré sa théorie de l'évolution et de l'origine des espèces, s'est effondré le 17 mai ne laissant que deux piliers rocheux. Bien qu'impressionnante, la cassure n'a pas fait de blessés, personne n'étant alors présent sur ce site considéré comme un haut lieu de la plongée. Les visiteurs s'y rendent notamment pour observer les requins. **A.-S. T**

ELLE A DIT

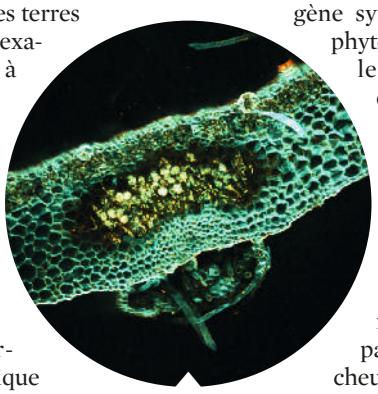
« La production de plastique a été multipliée par 200 depuis 1950 : on est passé de 800 grammes par habitant à 50 kilos aujourd'hui. »

Angèle Préville, sénatrice (PS) et vice-présidente de l'Office parlementaire d'étude des choix scientifiques et techniques (OPECST) auteure d'un rapport sur la pollution plastique

Sans champignons, il n'y aurait pas de plantes

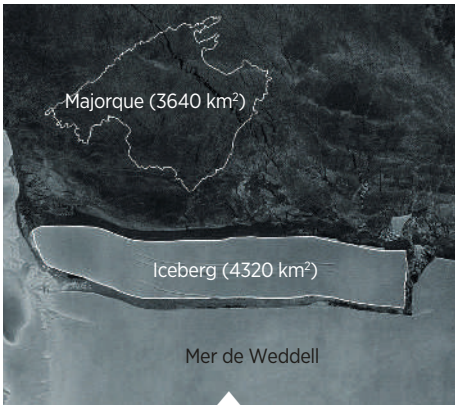
Des chercheurs ont démontré le rôle essentiel de la symbiose entre les champignons et toutes les plantes terrestres.

ÉVOLUTION Grâce aux « ciseaux moléculaires » CRISPR-Cas9, la preuve vient d'être apportée que sans les champignons, les plantes n'auraient jamais pu coloniser les terres émergées. C'est sur l'examen par microscopie à haute résolution de gisements fossiles provenant du dépôt sédimentaire de la chaille de Rhynie (Écosse) que reposait jusqu'ici l'hypothèse selon laquelle les plantes ont réussi à sortir du milieu aquatique il y a 450 millions d'années grâce à la symbiose avec les champignons qui leur ont apporté de la matière organique « en échange » de lipides. Des chercheurs de l'université de Toulouse rapportent maintenant dans la revue *Science* avoir inactivé un gène symbiotique de bryophyte (famille des plantes les plus anciennes, dépourvues de système vasculaire) *Marchantia paleacea*, et constaté un arrêt des échanges de lipides avec le champignon associé, un glomérомycète, lequel n'a pas survécu. Les chercheurs ont ainsi démontré le rôle essentiel de la symbiose entre les champignons et toutes les familles de plantes terrestres. **L. C.**



M. RICHET AL.

« Marchantia paleacea » colonisée par un champignon, vue au microscope.



AFP

Plus grand que l'île de Majorque, l'iceberg (vu ici par satellite) est à la dérive dans la mer de Weddell.

Un iceberg géant s'est détaché de l'Antarctique

GLACIOLOGIE Long d'environ 170 km et large de 25 km, le plus grand iceberg existant s'est séparé de la banquise à l'ouest de l'Antarctique. Avec ses 4320 km², il est vaste comme la moitié de la Corse et plus grand que l'île de Majorque. Si le réchauffement pourrait augmenter la fréquence de ce genre d'événements, le détachement de ce bloc de glace baptisé A-76 était toutefois attendu et n'est pas mis sur le compte du changement climatique. **H. J.**

L'énergie est notre avenir, économisons-la !

(1) Offre d'électricité et/ou de gaz naturel à prix de marché pour tout lieu de consommation situé en France métropolitaine, hors Corse, sur les zones géographiques où ENGIE commercialise des contrats de vente d'énergie auprès des clients particuliers.
(2) Service et appel gratuits.

ENGIE : SA AU CAPITAL DE 2 435 285 011 € - RCS NANTERRE 542 107 651. © Getty Images.

Le « peau à peau » sauve les prématurés

NÉONATALOGIE Passer dix-sept heures par jour la peau tout contre celle de l'un des parents diminuerait la mortalité des prématurés de 25 %. L'étude a été réalisée chez des nouveau-nés, de 1 à 1,8 kg. Grâce à ces contacts « peau à peau », 150 000 enfants pourraient être sauvés chaque année dans le monde. **C. L.**

SOURCE : S. ARYA, V. MAHAVIR MEDICAL COLLEGE, INDE.

VOISIN/PHANIE

Le contact prolongé avec un parent réduirait la mortalité des prématurés de 25 %.

KAYANA SZYMCZAK/THE NEW YORK TIMES-REA

Bien que la molécule ait été autorisée par l'autorité de santé américaine, les essais cliniques doivent se poursuivre (ici à l'hôpital Butler, Providence, États-Unis).

Un nouveau traitement contre Alzheimer

L'Adulhelm est le premier médicament dirigé contre le mécanisme neurodégénératif de la maladie. Sa commercialisation est autorisée aux Etats-Unis.

NEUROLOGIE Une première depuis 2003 ! Un nouveau médicament contre la maladie d'Alzheimer vient d'être autorisé aux États-Unis par la Food and Drug Administration (FDA). L'Adulhelm de Biogen est inédit par son mode d'action : c'est le premier traitement dirigé contre le mécanisme neurodégénératif caractéristique de la maladie. Cette dernière résulte en effet d'une accumulation de protéines bêta-amyloïdes dans le cerveau. La molécule, un anticorps monoclonal baptisé aducanumab, est censée dissoudre ces agrégats (*lire* S. et A. *n° 874, décembre 2019*). Pourtant, en novembre 2020, un comité d'experts s'était prononcé contre une autorisation faute de preuve d'efficacité suffisante. Un avis dont la FDA a finalement choisi de ne pas tenir compte. Estimant que, même modérés, les bénéfices surpassent les risques. Elle a néanmoins demandé à Biogen de poursuivre des essais cliniques. Sans exclure d'avoir à retirer *a posteriori* le médicament si son intérêt thérapeutique apparaissait vraiment insuffisant. **C. L.**

ELLE A DIT

« La caféine améliore la capacité à rester éveillé et à s'acquitter d'une tâche, mais elle ne peut pas grand-chose contre les erreurs de procédure dues à la fatigue cognitive, comme celles à l'origine d'accidents de voiture »

Kimberly Fenn, professeure de neuropsychologie à l'université du Michigan (États-Unis), auteure d'une étude sur les effets du café sur la cognition parue dans la revue *Journal of Experimental Psychology*

BSIP

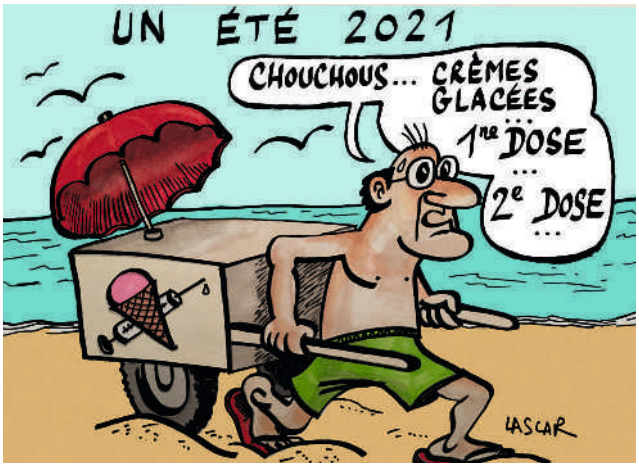
La prise mensuelle de MDMA a permis de réduire les symptômes en 3 mois.

L'ecstasy efficace contre le stress post-traumatique

PSYCHIATRIE La prise mensuelle d'un psychotrope, la MDMA, molécule active de l'ecstasy, a permis de réduire en trois mois les symptômes sévères de stress post-traumatique chez des patients résistants aux traitements classiques. Ce traitement a aussi réduit les symptômes dépressifs et les pensées suicidaires pendant plusieurs mois sans provoquer d'effets indésirables. **P. K.**

SOURCE : JENNIFER MITCHELL, UNIVERSITÉ DE CALIFORNIE À SAN FRANCISCO, ÉTATS-UNIS.

L'œil de Lascar



LES VACANCES D'ÉTÉ, nouveau casse-tête pour Jean Castex ? Nombre de Français seront loin de leur domicile au moment de faire leur deuxième injection de vaccin contre le Covid-19. Afin de faciliter la prise de rendez-vous, la seconde dose est désormais possible *« 21 à 49 jours »* après la première, au lieu des 5 semaines en vigueur jusqu'ici. **O. L.**

254 Petits moutons, 255 petits moutons, 257 petits moutons, NON ! 256 petits moutons, 257... Mais qui a dit que compter les moutons aidait à s'endormir ? Et pourquoi des petits moutons et pas des chiens, des chatons ou des koalas ? Je ne vois pas comment je peux m'endormir en comptant les moutons... Bon, je vais regarder sur mon téléphone pour savoir d'où ça vient... Non, évite. Continue de compter les moutons... Où en étais-je... 200, zut je ne sais plus, recommence. 1 petit mouton, 2 petits moutons, 3 petits moutons... Mais pourquoi les compter d'ailleurs ? Allez prends ton téléphone et regarde, mais juste une minute, ne regarde rien d'autre.

Mieux vaut s'endormir que penser à dormir

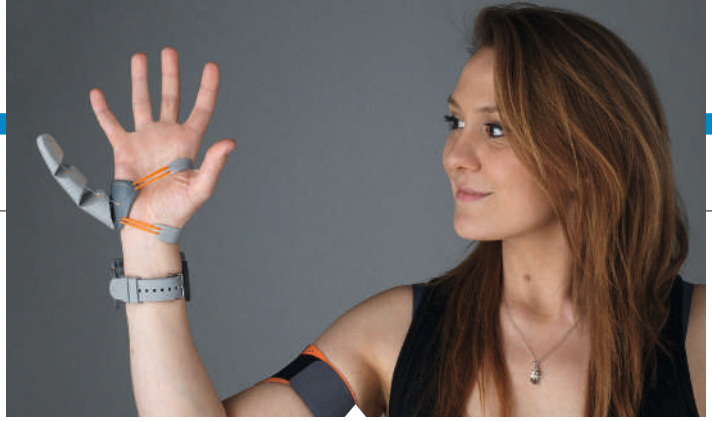
Complément alimentaire

Fabriqué en France

La mélatonine contribue à réduire le temps d'endormissement.
La passiflore contribue à un sommeil réparateur.

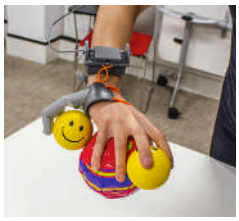
L.FR.MKT.CC.01.2021.3349

Pour votre santé, évitez de grignoter entre les repas. www.mangerbouger.fr



DANICLODE

Le cerveau s'est adapté pour utiliser un troisième pouce robotisé.



Cette prothèse modifie la représentation cérébrale de la main

NEUROSCIENCES Piloter un « troisième pouce » sous la forme d'une prothèse robotisée (image ci-contre) est non seulement possible avec un peu d'entraînement, mais l'acquisition de cette dextérité modifie le cerveau. L'imagerie par résonnance magnétique (IRM) a révélé que l'activité du cortex moteur intègre la nouvelle représentation cérébrale de la main. Preuve que le cerveau est capable de s'adapter à des dispositifs d'augmentation des capacités. **H. J.**

SOURCE : PAULINA KIELIBA, INSTITUT DE NEUROSCIENCES COGNITIVES, ROYAUME-UNI.

Les neurones de la curiosité ont été identifiés

COGNITION La source du désir inné d'explorer l'inconnu a été localisée dans le cerveau de souris. C'est l'activation de neurones situés dans une région subthalamique, la *zona incerta*, qui induit ce comportement. L'intérêt pour la nouveauté a ainsi pu être modulé chez la souris en agissant sur ces neurones. **P. K**.

SOURCE : MEHRAN AHMADLOU, INSTITUT NÉERLANDAIS DES NEUROSCIENCES, PAYS-BAS.

242 picogrammes

La masse totale des 46 chromosomes

GÉNÉTIQUE C'est en quelque sorte le véritable « poids de l'hérédité » : 0,000 000 000 242 gramme (ou 242 picogrammes, un picogramme valant un millième de milliardième de gramme). Il s'agit de la masse des 46 chromosomes humains, supports de l'hérédité. Elle vient d'être mesurée avec une précision inédite grâce aux rayons X du synchrotron britannique Diamond. **C. L.**

SOURCE : A. BHARTIYA, UNIVERSTY COLLEGE LONDON, ROYAUME-UNI.

L'IMAGE

GOOGLE

Notre cerveau vu par l'IA de Google

IMAGERIE Voici la carte la plus détaillée jamais réalisée d'un échantillon de cerveau humain. Les chercheurs ont utilisé des techniques d'imagerie associées à une intelligence artificielle développée par Google pour faire apparaître sur ce morceau de cerveau d'un millimètre cube, pas moins de 50 000 neurones reliés entre eux par 130 millions de synapses, mais aussi d'autres types de cellules et de vaisseaux sanguins. **H. J.**

SOURCE : A. SHAPSON-COE, UNIVERSITÉ HARVARD, ÉTATS-UNIS.

F.BAYLIS

QUESTIONS À

Françoise Baylis

Professeure de bioéthique à l'université Dalhousie, au Canada

Des règles assouplies pour étudier l'embryon humain

Les nouvelles recommandations de la Société internationale pour la recherche sur les cellules souches (ISSCR) suppriment non seulement la limite des 14 jours pour la culture d'embryons humains mais entrouvrent la porte à d'éventuelles modifications génétiques héritables selon la bioéthicienne, membre du Comité de conseil de l'OMS sur l'édition du génome humain.

Qu'est-ce que l'édition génétique héritable ?
Il s'agit des modifications du génome réalisées sur des gamètes (cellules sexuelles) ou des embryons qui deviendraient de fait transmissibles à la descendance d'individus nés de ces embryons ou gamètes.

Outre l'abandon de la limite des 14 jours de culture d'embryons, que changent ces nouvelles recommandations ?
Jusqu'ici, toute recherche impliquant une modification génétique d'embryons était classée dans la « catégorie 3 », celle des recherches interdites. Désormais, cette catégorie est subdivisée : d'un côté, les recherches interdites ; de l'autre, celles encore considérées comme dangereuses ou soulevant des problèmes éthiques en suspens, mais susceptibles d'être résolues dans le futur. L'édition génétique d'embryons se trouve désormais dans cette seconde sous-catégorie.

Qu'est-ce que cela signifie ?
L'ISSCR estime que les questions éthiques se résoudront dès lors que l'édition du génome sera suffisamment sûre et maîtrisée. C'est une façon surprenante de normaliser ces recherches alors même qu'aucune discussion n'a été entreprise à ce sujet.

Propos recueillis par N. G.

RIVAGES
DU MONDE

Prendre le large, c'est essentiel.

RCS Paris B 438 679 664 – 150 000 euros - Atout France IM 075 100 099 – Crédit Dreamstime

Croisières

EXPÉDITIONS

NORVÈGE • ARCTIQUE • ISLANDE • GROENLAND • SPITZBERG

A bord d'un véritable yacht d'expédition, conçu pour 180 passagers.
Un navire à propulsion hybride, pouvant stationner sans jeter l'ancre, pour une meilleure protection des sanctuaires marins. Des conférenciers spécialistes des régions polaires présents à bord.

SA01

Voguer. Échanger. Rêver

RÉSERVEZ VOTRE CROISIÈRE AU 01 83 96 85 03 OU SUR WWW.RIVAGESDUMONDE.FR

H. CHAMPOLLION / AKG IMAGES

Les bas-reliefs du temple du Bayon, érigé au XIIIe siècle, montrent de nombreuses scènes de la vie quotidienne à Angkor.

Quand Angkor était la cité la plus peuplée au monde

700 000 à 900 000 personnes : c'est sans doute l'incroyable population qui vivait dans la cité cambodgienne à son apogée au XIIIe siècle.

ARCHÉOLOGIE La croissance démographique d'Angkor (Cambodge) a longtemps été une source de spéculations. Or, les modélisations parues dans *Science Advances* viennent de démontrer que la célèbre « forêt de pierre » était alors l'un des plus grands complexes habités du monde : 700 000 à 900 000 personnes. Pour obtenir ces résultats, une équipe internationale s'est appuyée sur les données des relevés lidar (télédétection par laser), des fouilles archéologiques et des datations par radiocarbone. En utilisant des algorithmes, les scientifiques ont réalisé des cartes modélisant la croissance de la ville et de sa population, depuis son occupation, au IXe siècle, jusqu'à son effondrement, au XIVe siècle. Une méthode qui pourrait être appliquée à d'autres complexes agro-urbains, comme les cités mayas. **B. A.**

EN DEUX MOTS

NOMINATION. L'historienne de l'art Laurence des Cars a été nommée à la présidence du Louvre, à Paris, le musée le plus visité au monde. **GÉNOCIDE.** L'Allemagne a reconnu avoir commis « un génocide » contre les Héréros et les Namas lors de la colonisation du Sud-Ouest africain (actuelle Namibie) au début du XXe siècle. **DÉCOUVERTE.** Un vaste complexe rural gaulois, ainsi que deux rares fragments de statues, a été mis au jour à Artenay (Loiret) a annoncé l'Inrap.

LEAH D. RUBIN

L'analyse d'écailles fossilisées a mis en évidence la chute de 90 % des effectifs de squales il y a 19 millions d'années.

Les requins de haute mer ont bien failli disparaître

PALÉONTOLOGIE Il y a 19 millions d'années, les populations de requins de haute mer ont chuté de 90 %. Une quasi-extinction révélée par l'analyse de microfossiles d'écailles et de dents extraits des fonds marins. Rien ne permet d'expliquer cet effondrement qui n'a peut-être affecté que l'océan Pacifique, d'où proviennent les prélèvements. Après cet événement, ce sont les espèces de grands requins migrateurs qui ont prospéré. **J. I.**

SOURCE : ELIZABETH SIBERT, UNIVERSITÉ HARVARD, ÉTATS-UNIS.

La culture du pavot à opium est née en Suisse

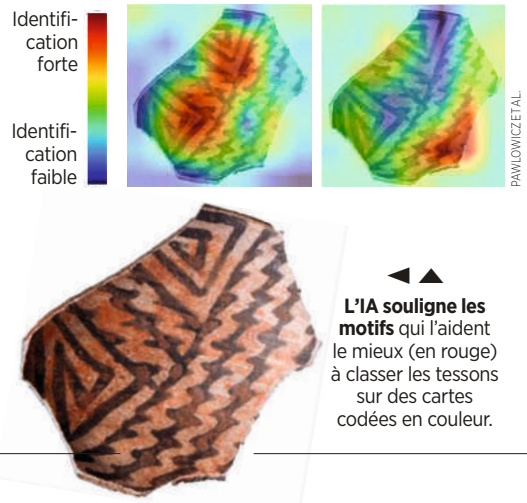
NÉOLITHIQUE **Dès 4300 ans avant J.-C., du pavot à opium (*Papaver somniferum L.*) fleurissait au cœur des Alpes suisses. Grâce à l'analyse de leur morphologie, des graines de pavot sauvage ont pu y être distinguées des plus anciennes semences. Le pavot est ainsi la seule plante connue à avoir été domestiquée hors du Croissant fertile, au Moyen-Orient.** **B. A.**

SOURCE : ANA JESUS, UNIVERSITÉ DE BÂLE, SUISSE.

Une IA alliée des archéologues

CÉRAMOLOGIE Pour automatiser le travail de tri et de classification des tessons de poterie collectés lors des fouilles, deux chercheurs ont formé un réseau de neurones artificiels à la reconnaissance de ces fragments. Au moins aussi précise que des spécialistes, l'intelligence artificielle a accompli sa tâche en un temps record et indique les motifs reconnus. **B. A.**

SOURCE : L. PAWLOWICZ, UNIVERSITÉ D'ARIZONA DU NORD, ÉTATS-UNIS.



PAWLOWICZ ET AL.

◀ ▲ **L'IA souligne les motifs** qui l'aident le mieux (en rouge) à classer les tessons sur des cartes codées en couleur.

Il y a 8000 ans, on dansait au son des dents de wapiti

PRÉHISTOIRE Sur les rives du lac Onega, en Russie, des centaines d'incisives de wapiti — l'un des plus grands cervidés après l'élan — ont été retrouvées dans des sépultures préhistoriques. L'analyse des traces d'usure révèle que ces dents servaient il y a 8000 ans de parure aux vêtements portés lors de danses rituelles. En s'entrechoquant, elles rendaient un son particulièrement entraînant selon les chercheurs qui ont eux-mêmes essayé des reconstitutions de tels habits. **B. A.**

SOURCE: R. RAINIO, UNIVERSITÉ D'HELSINKI, FINLANDE.

ARTIST TOM B. JORKLUND - R. RAINIO ET AL.

Portées en pendentif, les dents rythmaient les danses rituelles en s'entrechoquant (reconstitution).

Ce dinosaure australien était un titan

PALÉONTOLOGIE *Australotitan cooperensis*, dont les restes sont étudiés depuis 2006, vient d'intégrer le top 5 des plus grands dinosaures au monde! Sa taille est estimée de 5 à 6,5 m de haut pour 25 à 30 mètres de long. Découvert en Australie, il est classé dans le groupe des titanosaures, espèces quadrupèdes au long cou trouvées sur tous les continents. Il a vécu durant le crétacé, il y a près de 100 millions d'années. **J. I.**

SOURCE: SCOTT HOCKNULL, UNIVERSITÉ DE MELBOURNE, AUSTRALIE.

S. YOUJING / XINHUA-REA

L'étude du squelette d'« Australotitan cooperensis » (ici une réplique du fémur) a démontré qu'il s'agit d'une nouvelle espèce de sauropode géant.

9 Le nombre de néandertaliens découverts en Italie

PALÉOANTHROPOLOGIE La grotte de Guattari, entre Rome et Naples (Italie), est certainement le site le plus important pour l'histoire de l'homme de Neandertal selon les chercheurs qui viennent d'y exhumer les restes de neuf nouveaux spécimens: huit d'entre eux sont vieux de 50 000 à 68 000 ans et le plus ancien de 90 000 à 100 000 ans. **H. J.**

Les Gaulois savaient bien écrire

ANTIQUITÉ Par Belisama! Contrairement à une idée répandue, les Gaulois connaissaient et utilisaient l'écriture pour de courts textes gravés sur pierres, poteries ou feuilles de plomb. Ils ont d'abord eu recours à l'alphabet grec, qui a donné le gallo-grec, puis aux lettrines latines, pour le gallo-latin. 800 de ces inscriptions sont connues à ce jour, conservées dans le « recueil informatisé des inscriptions gauloises » (RIIG). **B. A.**

SOURCE: COLINE RUIZ DARASSE, UNIVERSITÉ DE BORDEAUX, FRANCE.

M. COHEN / AURIMAGES

Inscription gauloise en caractères latins trouvée sur le site d'Alésia.

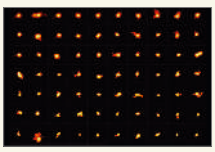
www.sciencesetavenir.fr et www.larecherche.fr
Sciences et Avenir et *La Recherche* au quotidien

CÉTOLOGIE
L'activité humaine a fait rétrécir les baleines

BIOSPHOTO

Depuis les années 1980, les baleines franches de l'Atlantique Nord sont de plus en plus petites. C'est ce qu'ont observé des chercheurs qui lient ce phénomène aux incidents toujours plus nombreux entre baleines et installations de pêche.
https://bit.ly/3zx7BMF

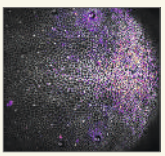
ASTRONOMIE
Il lève le voile sur les galaxies du jeune Univers



COLLABORATION ALPINE

Chercheur au Laboratoire d'astrophysique de Marseille, Matthieu Béthermin revient sur son étude fascinante des galaxies il y a 10 milliards d'années, quand les étoiles se formaient en vitesse accélérée.
https://bit.ly/3iVTNoT

BIOLOGIE
Les cellules mourantes cherchent à sauver les autres



INSTITUT PASTEUR

Lorsqu'une cellule de la couche externe des organes vient de mourir, les autres cellules mourantes autour d'elle s'empêchent de trépasser le temps que l'espace laissé par la cellule décédée soit comblé, afin d'assurer l'étanchéité de l'organe.
https://bit.ly/3zBurTd

Vous êtes déjà 2 millions à nous suivre sur Facebook

FRANCE
100 trésors scientifiques

Cavernes, lieux de sciences, sites naturels exceptionnels, vestiges du patrimoine industriel ou encore musées et châteaux méconnus... La France regorge de lieux fantastiques loin des sentiers battus. La rédaction de « Sciences et Avenir - La Recherche » s'est mobilisée pour vous faire partager ses « jardins secrets ».

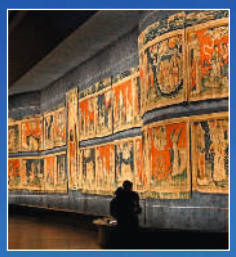
Dossier coordonné par
Arnaud Devillard

COUPS DE CŒUR DE CHERCHEURS

Ils sont parmi les meilleurs dans leur discipline et ils ont accepté de partager avec nous leurs coins secrets. Retrouvez dans ce dossier les choix de Philippe Charlier *(p. 28)* Yves Coppens *(p. 40)*, Audrey Dussutour *(p. 36)* Laurence Devillers *(p. 48)*, et Jean-Philippe Uzan *(p. 52)*.

GETTY IMAGES

M. FACHE/COLLECTIF ITEM


M. HOUET/BELPRESS/ANDIA.FR

BRIDGEMAN IMAGES

R. MATTES/HEMIS.FR

ARNOLD JEROCKI / DIVERGENCE

NATURE
Les tortues de La Réunion, les ocres du Lubéron…
p. 26

HISTOIRE
La tapisserie de l'Apocalypse, la coupole d'Helfaut…
p. 34

PRÉHISTOIRE
La grotte du Pech Merle, les roches gravées de Guadeloupe…
p. 41

PATRIMOINE
Le château de Dieppe, le centre minier de Lewarde…
p. 44

LIEUX DE SCIENCES
Le laboratoire du plateau d'Albion, le synchrotron Soleil…
p. 50

L'alignement d'i Stantari, sur le territoire de Sartène (Corse du Sud), est un site majeur de statues-menhirs en Europe *(lire p. 39)*.

NATURE

Retour aux sources

Objectif : fuir l'avancée galopante des sols artificialisés. Voici où observer animaux, fleurs et curiosités géologiques loin de la foule.

G. LANSARD/HEMIS.FR

Les gorges du Fier

HAUTE-SAVOIE

À quelques kilomètres d'Annecy, le torrent du Fier a taillé, au fil des millénaires, un canyon très profond et étroit qu'il est possible de visiter grâce à une passerelle suspendue à 25 mètres au-dessus de l'eau qui traverse les gorges sur près de 250 mètres. **V. C.**

Rens. : 04.50.46.23.07.

LOVAGNY

H. LENAIN/HEMIS.FR

À 2058 m d'altitude, ce jardin témoigne des effets du réchauffement sur les plantes.

Le jardin alpin du Lautaret

HAUTES-ALPES Carrefour climatique exceptionnel perché à 2058 m d'altitude, ce jardin botanique est d'abord un lieu scientifique. Les étudiants et chercheurs de l'université de Grenoble viennent y examiner les 1500 espèces de plantes présentes, sur les 5000 que compte la France, et mesurer les effets du changement climatique sur l'étagement de la végétation montagnarde.
À cette altitude, les pacages de l'étage subalpin sont dominés par une grande graminée, la fétuque paniculée. Les visiteurs peuvent arpenter ces alpages où les plantes produisent des fleurs aux couleurs vives et fluorescentes.
Le tout en contemplant le très vaste panorama des différentes compositions géologiques du parc national des Écrins. L. C.

Rens. : 04.92.24.41.62 ; sciav.fr/893Lautaret

COL DU LAUTARET

Le Parc oriental

MAINE-ET-LOIRE

Ce jardin japonais, le plus grand d'Europe, occupe 29 hectares d'une ancienne propriété du frère de Colbert. Réalisé entre 1899 et 1913, restauré en 1980 après une période d'abandon, il met en valeur 400 espèces de plantes, avec pour modèle les jardins japonais de l'ère Edo (1603-1868) où l'eau est l'élément central. **A. D.**

Rens : 02.41.55.50.14.

S. COMPOINT/ONLYFRANCE.FR

MAULÉVRIER

Le Parc naturel régional des Baronnies provençales

DRÔME Ce parc, partagé entre la Drôme et les Hautes-Alpes, bénéficie d'une biodiversité exceptionnelle mais son plus grand trésor reste son ciel nocturne, parmi les plus épargnés par la pollution lumineuse en Europe. Avec ses montagnes de moyenne altitude, c'est un endroit idéal pour observer les étoiles et la Voie lactée, même à l'œil nu. **V. C.**

Rens. : 04.75.26.79.05.

SAHUNE

Le « Colorado provençal » de Rustrel (Vaucluse), avec ses buttes orangées aux formes insolites, est d'anciennes carrières d'ocre.

F. CHAREL / HEMIS.FR

Les ocres du Lubéron

VAUCLUSE. Des buttes orangées, des falaises roses, des pignons jaunes, des murailles d'un blanc éclatant, des reliefs couvrant toute la gamme du rouge au brun… Ces décors colorés aux formes parfois insolites aux abords des villages de Roussillon, Gignac, Gargas, Villars ou Rustrel sont d'anciennes carrières d'ocre, autrement dit de l'argile teintée d'oxyde et d'hydroxyde de fer, combinés parfois à d'autres éléments (aluminium, manganèse). À la fois naturels et façonnés par l'homme, ces sites ont servi au moins dès l'Antiquité. L'exploitation industrielle commence vraiment au XIXe siècle, pour fournir des colorants, les ocres ayant la propriété d'être stables et non toxiques. Une véritable activité minière s'est alors emparée de ce petit coin de Provence, entre carrières à ciel ouvert et galeries souterraines. Aujourd'hui, une seule entreprise ocrière subsiste, à Gargas, où le réseau de tunnels s'étend sur 40 km. Ces sites, résultats de phénomènes géologiques surprenants, se visitent à pied sur des sentiers balisés. Rendus à la nature, taillés par les vents et les intempéries, ils constituent des écosystèmes fragiles. Le plus fascinant, et le plus touristique, reste le « Colorado provençal » de Rustrel, exploité de 1871 à 1993. Plus de 20 couleurs, dont des verts et des mauves, se juxtaposent sur une centaine d'hectares. Les variations de lumière en font un spectacle sans cesse renouvelé. Plus discret, le site de la colline de la Bruyère à Villars s'enorgueillit de son statut de « trésor caché ». **Arnaud Devillard**

Rens. : 04.90.74.03.18 ; sciav.fr/893Luberon

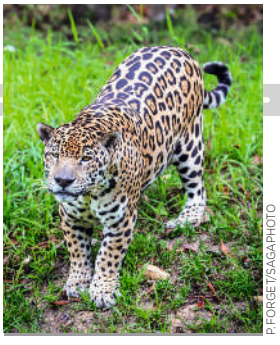
RUSTREL

MACOURIA

Le zoo de Guyane

GUYANE Logé en pleine forêt amazonienne, ce lieu offre une balade sylvestre d'au moins deux heures au fil d'un sentier praticable. La flore guyanaise, dont certaines espèces endémiques, y prospère dans son milieu. De vastes enclos ménagés dans cet espace naturel accueillent quelque 75 espèces animales guyanaises, pour la plupart protégées. Il faut parfois être patient pour apercevoir les caïmans à lunettes, les pumas, les ocelots, les coqs des roches ou les loriquets arc-en-ciel. À notre dernière visite, des singes et des perroquets sauvages se promenaient également dans les arbres, le long du sentier. Une fenêtre sur l'Amazonie guyanaise accessible à tous. **Sylvie Rouat**

Rens. : 05.94.31.73.06 ; sciav.fr/893Zoo



P. FORGET/SAGAPHOTO

L'abîme de Bramabiau

GARD Ce canyon des Cévennes a été exploré pendant près d'un siècle. Taillé dans le calcaire par la rivière Bonheur, il consiste en un réseau souterrain, avec diverses ramifications, de plus de 10 km. Les visiteurs en explorent un seul, avec un guide, en différentes étapes. Le départ a lieu dans les sous-bois. **A. D.**

Rens. : 04.67.82.60.78.

SAINT-SAUVEUR-CAMPRIEU

PHILIPPE CHARLIER

Courir sur un vieux volcan

Le célèbre médecin légiste et anthropologue, nous invite à découvrir les richesses du massif de l'Esterel (Var et Alpes-Maritimes) en bordure de la Méditerranée.

J. HUBER/ SIME / PHOTONONSTOP

Le massif de l'Esterel est un ancien volcan vieux de près de 250 millions d'années.

Philippe Charlier est médecin légiste, anthropologue et archéologue. Il dirige le département de la recherche et de l'enseignement au musée du Quai-Branly-Jacques-Chirac, à Paris.

THIBAUT CHAPOTOT

"Chaque année, vers la Toussaint, je sais que je vais descendre dans le Sud, et aller courir chaque matin avec mes garçons dans le massif de l'Estérel. J'aime cette terre rouge et ocre, ces pierres qui ont vécu mille vies, cette végétation de garrigue et de chênes-lièges, ces odeurs de résine et d'herbes aromatiques qui me rappellent ma jeunesse, quand je faisais des fouilles archéologiques à Itanos, en Crète. Serpenter sur ces chemins de traverses est ma madeleine de Proust, avec d'innombrables souvenirs qui remontent à la surface. L'endroit se prête à la rêverie et à la nostalgie, mais aussi à la science : car si ce sol est couleur de sang, c'est parce que nous courons en fait sur un ancien volcan vieux de près de 250 millions d'années ! Désormais, l'érosion a emporté le cône et altéré les coulées de lave, et la métamorphose des roches a fait son œuvre, mais on identifie encore bien ce basalte et cette fameuse estérellite aux reflets bleu-gris qu'on trouve vers le cap du Dramont. Sur les hauteurs, on voit l'île d'or, qui inspira Hergé pour son Île noire ; de l'autre côté du cap, vers Agay, la maison-phare où vivait Saint-Exupéry.

Et puis il y a aussi, plus proche de nous dans l'échelle du temps, les mégalithes érigés au néolithique. Habituellement, nous finissons toujours notre course au menhir d'Aire-Peyronne, avec ses étranges cupules sur chaque côté de cette pierre dressée à la couleur grise, partiellement recouverte de mousses et de lichens. Depuis quelques années, mes fils déposent un petit bouquet de fleurs sur le dessus du menhir, en souvenir des morts qui y ont été enterrés : ce n'est pas parce qu'ils ont 5000 ans qu'il faut les oublier, n'est-ce pas ?" ■

SAINT-MAXIMIN-LA-SAINTE-BAUME

VAR « On y trouve une immense basilique qui domine la ville et la campagne : un des lieux les plus sacrés du catholicisme. Impossible de passer près de là sans faire un détour, descendre dans la crypte pour voir le crâne de Marie-Madeleine, dans un impressionnant reliquaire doré. Il y a quelque chose

B. RIEGER/HEMIS.FR

de mystérieux… mais un peu moins depuis que notre étude scientifique a permis de reconstituer son visage ! »
Rens. : 04.94.78.00.19.

MARCHER SUR LES PAS DES ANCIENS

L'ascension du mont Ventoux… en relisant Pétrarque, qui fit ce même chemin en 1336 !

Traverser les Cévennes sur le GR70 avec un âne en relisant Stevenson, dont l'épopée date de 1878.

Monter à Vézelay en relisant Viollet-le-Duc [qui y restaura la basilique]. J'aime tout particulièrement cette montagne magique, que domine la basilique romane, un des points de départ du chemin de Compostelle…

L. LHOTÉ/BIOSPHOTO

BIDART

La limite crétacé-tertiaire

PYRENÉES-ATLANTIQUES Au nord de la plage d'Erretegia, à Bidart, il faut vraiment avoir l'œil pour découvrir une ligne noire et continue sur un rocher, la seule trace de la limite crétacé-tertiaire observable de près en France. Cette ligne, une couche d'argile riche en iridium (métal très présent dans les météorites) date de l'époque qui a vu l'extinction des dinosaures, il y a 66 millions d'années. À droite, se trouvent des marnes beiges et grises contenant des microfossiles datant du maestrichien (fin du crétacé). À gauche, des calcaires roses et blancs contenant des microfossiles du danien (début du tertiaire). **L. L.**

Accès libre sur la plage d'Erretegia.

VIGNY

La carrière du bois des Roches

VAL-D'OISE Cette ancienne carrière de pierre calcaire, exploitée jusqu'en 2001, est un site géologique d'exception. Véritable musée à ciel ouvert, elle raconte l'histoire du Bassin parisien : près de 350 espèces de fossiles marins (algues, mollusques) ont été recensées sur cet ancien massif corallien. **C. C.**

Rens. : 02.48.83.00.28.

SAINT-LEU

Une vitre permet aux visiteurs d'admirer les mouvements des tortues marines.

M. FACHE/COLLECTIF ITEM

L'observatoire des tortues marines Kélonia

LA RÉUNION L'observatoire des tortues marines Kélonia, à la pointe des Châteaux, sensibilise le visiteur à la préservation du patrimoine naturel et culturel associé à ces reptiles. Colossal, il dispose de 1500 m³ de bassins alimentés en eau de mer pour héberger les tortues marines, de locaux pédagogiques et scientifiques ainsi que de 1500 m² d'espaces extérieurs où se prélassent, à l'ombre des veloutiers, des tortues terrestres. Le parcours muséographique se décline en trois thématiques : *« la "Découverte" avec la reconstitution des différents habitats occupés par les tortues marines au cours de leur cycle biologique ; la "Confrontation" qui présente les relations entre les sociétés humaines et les tortues marines et "l'Avenir" qui présente les programmes de recherche et de conservation menés par Kélonia et ses partenaires à La Réunion et ailleurs dans l'océan Indien »* explique Stéphane Ciccione, le directeur du site. L'observatoire s'engage notamment pour la restauration des plages de ponte sur l'île, le suivi des tortues par photo-identification ou encore dans la réduction des prises accidentelles grâce à un partenariat avec les pêcheurs palangriers. Il dispose ainsi d'un centre de soin agréé par le ministère de la Transition écologique, isolé du public afin de recueillir les animaux blessés ou malades au large de l'île. *« Nous accueillons en moyenne 30 tortues chaque année avec un taux de survie entre 75 et 80 % »*, souligne Stéphane Ciccione. Nombreuses sont celles relâchées ensuite dans les eaux turquoise de La Réunion.

Anne-Sophie Tassart

Rens. : 02.62.34.81.10 . sciav.fr/893Kelonia

BREST

B. RIEGER/HEMIS.FR

Le Conservatoire botanique national

FINISTÈRE En 1975, le vallon du Stang-Alar à Brest n'était qu'une carrière désaffectée lorsqu'il fut décidé d'y fonder le premier établissement au monde dédié au sauvetage des espèces végétales menacées. Outre les plantes de l'ouest de la France, le conservatoire botanique abrite des espèces endémiques des îles et des hauts lieux mondiaux de la biodiversité. Sur 31 ha, le jardin accueille des plantes regroupées par grandes régions du monde, tandis que les espèces tropicales sont cultivées en serre. Les laboratoires du conservatoire assurent la préservation de graines retrouvées après 220 ans d'immersion dans une épave de l'expédition Lapérouse. **S. R.**
Rens. : 02.98.02.46.00. www.cbnbrest.fr

Le cratère de Lemptégy

PUY-DE-DÔME Tout près du centre Vulcania, il est possible de découvrir le cœur du Lemptégy. Une gigantesque cavité de 10 ha creusée dans ce volcan dévoile sa structure interne, dont la visite se fait à pied, ou en petit train. **H. J.**
Rens. : 04.73.62.23.25.

C. GUY/HEMIS.FR

SAINT-OURS-LES-ROCHES

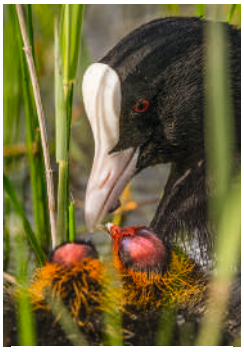
J.B. BARRET

Ciseaux agglomérés par la chaleur dégagée par l'éruption de la montagne Pelée.

Le Mémorial de la catastrophe de 1902

MARTINIQUE Le 8 mai 1902, la montagne Pelée entrait en éruption et une nuée ardente s'abattait sur Saint-Pierre, la plus grande ville de Martinique. La catastrophe a coulé les navires ancrés dans la rade et entraîné la mort d'environ 28 000 personnes. Diligenté sur les lieux, le pétrographe Alfred Lacroix réalise le premier travail de recherche du genre, compilant témoignages, échantillons et analyses de matériaux. Il établit ainsi que la température avait atteint jusqu'à 1050 °C ! En témoignent les 232 objets fondus et torturés exposés dans ce petit musée. Créé en 1933 par le volcanologue américain Frank Alvord Perret, il a été rénové en 2019. Plus loin, les restes du théâtre, de la prison ou de l'église du Fort font de Saint-Pierre un mémorial à ciel ouvert. **S. R.**
Rens. : 05.96.78.15.16 ; www.memorial1902.org

SAINT-PIERRE


S. BOUILLAND/HEMIS.FR

Le parc ornithologique du Marquenterre

SOMME À l'embouchure de la Somme, dans un site protégé où se mêlent mer, étangs, dunes, pins, des centaines d'espèces d'oiseaux, venus de toute l'Europe ou de retour d'Afrique, font escale chaque année pour reprendre des forces, hiverner ou se reproduire. 13 abris permettent de les observer, tandis que des guides expliquent leurs comportements. **V. G.**
Tél : 03.22.25.68.99 ;
www.parcdumarquenterre.fr

SAINT-QUENTIN-EN-TOURMONT

Sans cesse remanié par les marées, le banc d'Arguin (ici vu depuis la dune du Pilat) est un refuge pour de nombreuses espèces marines.

A. BERTRANDE/ ONLYFRANCE.FR

Le banc d'Arguin

GIRONDE. À l'entrée du bassin d'Arcachon, ce long banc de sable est un trésor de biodiversité unique en France. Avec ces airs de petit désert perdu entre les 107 mètres de la dune du Pilat — la plus haute d'Europe — et les fosses océaniques du golfe de Gascogne, le banc d'Arguin, classé réserve naturelle nationale en 1972, offre d'abord un spectacle grandiose (par ailleurs idéal pour la baignade). Mais à proximité immédiate du paradis ornithologique que représente l'île aux Oiseaux, en plein milieu du bassin d'Arcachon, le banc d'Arguin est surtout un emplacement stratégique pour la reproduction des oiseaux comme la sterne caugek et le gravelot à collier, l'hivernage de nombre de petits échassiers (bécasseau, courlis cendré, barge rousse...) et sert de halte migratoire à de nombreuses espèces. À marée basse, la partie émergée fait environ 4 kilomètres de long pour 2 km de large. Les contours de cette curiosité géologique sont néanmoins sans cesse remaniés par les fortes marées qui vident et emplissent le bassin d'Arcachon d'un côté, et le courant de la dérive littorale nord-sud qui balaie la côte Atlantique.

Reste que la réserve naturelle s'étend bien au-delà du banc lui-même. Du fait de sa proximité avec le plateau abyssal, le banc d'Arguin est aussi un refuge d'espèces marines comme le phoque gris, la tortue luth ou les grands dauphins. Accessible en bateau au départ d'Arcachon ou de Lège-Cap-Ferret, l'endroit ne se visite qu'avec le souci absolu de cette fragile biodiversité. **Hugo Jalinière**

Rens : 05.56.54.63.14.

BASSIN D'ARCACHON

SARRAGACHIES

P. ALLARD/REA

Des vignes rescapées du phylloxéra

GERS Les 60 pieds de la vigne de Sarragachies ont traversé deux siècles d'existence. Le sol sableux a empêché le phylloxéra, en 1878, de les tuer et son maintien au sein du patrimoine de la famille Pédebernade leur a évité tout arrachage. Ces 2000 m² sont aujourd'hui classés Monument historique car ils témoignent de la façon dont on cultivait la vigne au début du XIXe siècle. Notamment la plantation en pieds doubles (deux troncs partent du sol contre un seul aujourd'hui), une vraie curiosité. La parcelle compte une vingtaine de cépages toujours exploités dont sept inconnus ailleurs. La vigne appartient aujourd'hui au vignoble de Plaimont qui la fait visiter à la demande. **L. C.**

Rens. : 05.62.69.62.87.

Le Musée naturel Jean-Marie Pelt

MOSELLE Écrivain, pharmacien, botaniste et homme de radio, Jean-Marie Pelt (1933-2015) a contribué à interroger les relations entre la nature et les humains. En hommage, « un musée naturel », ou plus précisément une promenade bucolique, a été créé en 2017 avec neuf jardins thématiques et des jardins partagés. **M. G.**

Rens. : www.musee-naturel-pelt.fr

OGY-MONTOY-FLANVILLE

RÉGINE PETERSEN

ENSISHEIM

La météorite d'Ensisheim

HAUT-RHIN Le musée de la Régence à Ensisheim abrite l'une des plus célèbres météorites d'Europe. Cette pierre de 57 kg est le plus ancien caillou extraterrestre recueilli et conservé dans le monde occidental. Elle est tombée le 7 novembre 1492 dans un verger à proximité de la ville et pesait alors 130 kg. S'enfonçant d'un mètre dans le sol, dans un bruit fracassant, elle gagna le nom de « pierre de tonnerre ». C'était la première chute observée depuis l'invention de l'imprimerie, d'où les nombreuses chroniques relatant l'événement. Maximilien 1er, archiduc d'Autriche, se rendit sur le site. Il fit enchaîner et suspendre la météorite dans l'église paroissiale de peur qu'elle ne reparte vers le ciel. **F. D.**
Rens. : 03.89.26.49.54.

BRIOUDE

La Maison du saumon et de la rivière

HAUTE-LOIRE Brioude a longtemps été un haut lieu de la pêche au saumon. Mais la construction de barrages a réduit le nombre de reproducteurs remontant la Loire puis l'Allier. On peut avoir une idée de ce que représentait cette manne dans ce musée présentant en aquarium 35 espèces de poissons peuplant les rivières françaises. **L. C.**
Rens. : 04.71.74.91.43.

SAINTE-LUCIE

S. GAUTHIER/SAGAPHOTO

Des postes aménagés permettent d'observer les 136 loups du parc, de 5 sous-espèces différentes.

Les loups du Gévaudan

LOZÈRE. C'est dans les environs de ce parc animalier que la légende de la bête du Gévaudan a pris corps à la suite d'attaques ayant fait une centaine de victimes entre 1764 et 1767. Deux cent cinquante ans plus tard, le mystère demeure sur les causes de cette série noire, mais le Gévaudan, lui, est devenu un lieu privilégié pour réconcilier l'humain et le loup grâce à ce parc de 20 hectares situé au cœur de la Lozère, à une dizaine de kilomètres de Marvejol. En tout, 136 loups de cinq sous-espèces différentes sont hébergés en semi-liberté dans de grands enclos. Mais sur les chemins naturels, tout est fait pour que la visite, libre ou guidée, permette l'observation des différentes meutes grâce à de nombreux postes aménagés. Il faut compter environ trois heures pour en faire le tour. C'est l'occasion, aussi, d'une belle promenade sur les sentiers pentus de la zone — chaussures de marche fortement recommandées. Pour les plus curieux, un parc d'observation scientifique de 12 hectares est également accessible, peuplé d'une vingtaine de loups de Mongolie, descendants d'individus sauvés des braconniers dans les années 1990. Alors que le loup à l'état sauvage revient sur le territoire français, la visite du parc et de ses ateliers pédagogiques sont des moyens de réhabiliter l'animal et d'aborder les questions que pose ce retour pour les écosystèmes. Pour les amateurs d'histoire, une section du musée du parc est consacrée à la traque de la bête du Gévaudan, même s'il n'a jamais été prouvé qu'il s'agissait d'un loup. **H. J.**
Rens. : 04.66.32.09.22 ; sciav.fr/893Loup

GÉOLOGIE

Dans les secrets des profondeurs

Entre forêts minérales, lacs et rivières en sous-sol, avens et étroites galeries menant à de vastes salles de concrétions calcaires, immergez-vous dans un patrimoine souterrain riche autant qu'impressionnant.

Par Arnaud Devillard

GROTTE DU GRAND ROC

DORDOGNE
Les concrétions entremêlées forment une véritable forêt minérale, pour des créations naturelles très insolites : triangles, tétraèdres, voire... Victoire de Samothrace !
Rens. : 05.53.06.92.70.

GROTTES PÉTRIFIANTES DE SAVONNIÈRES-VILLANDRY

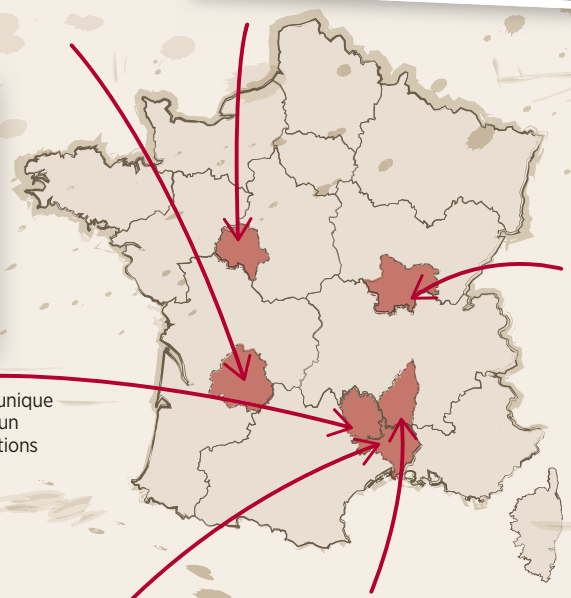
INDRE-ET-LOIRE
Dans ces anciennes carrières de tuffeau, les infiltrations d'eau chargée en calcaire ont créé stalactites, stalagmites, draperies, toutes sortes de concrétions colorées par-dessus la roche.
Rens. : 01.47.50.00.09.

AVEN ARMAND

LOZÈRE On descend dans cette immense et unique salle à 75 m sous terre en funiculaire. Là, dans un volume où tiendrait une cathédrale, les concrétions calcaires se dressent en rangs serrés.
Rens. : 04.66.45.61.31.

GROTTE D'AZÉ

SAÔNE-ET-LOIRE Deux des sept salles se visitent, la grotte habitée (humains et animaux) au cours du paléolithique inférieur, et celle abritant une rivière souterraine.
Rens. : 03.85.33.32.23.

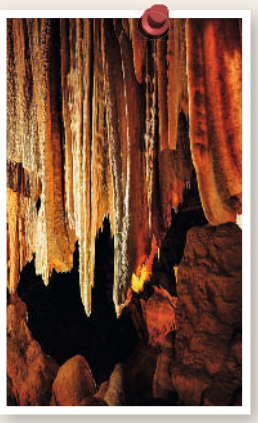


GROTTE DE LA COCALIÈRE

GARD Le site est une suite de salles sur un couloir d'un kilomètre. Il s'illustre par ses concrétions circulaires, ses fistuleuses ou ses draperies translucides et une série de cuvettes d'eau (gours) en escalier dans la roche.
Rens. : 04.66.24.34.74.

AVEN D'ORGNAC

ARDÈCHE
Trois salles successives, dont une de 10 000 m² et 30 m de haut, composent un monde de colonnes calcaires aux formes les plus folles. Découvert en 1935, le site s'enfonce jusqu'à 120 m sous terre.
Rens. : 04.75.38.65.10.



MAIS AUSSI...

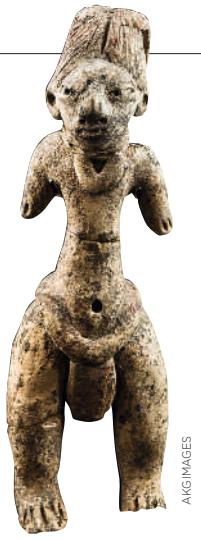
- Grotte de Saulges (Mayenne)
Rens. : 02.43.90.51.30.
- Grottes de la Balme (Isère)
Rens. : 04.74.96.95.00.
- Grotte (ou salle) de la Verna (Pyrénées-Atlantiques)
Rens. : 06.37 88 29 05
- Grotte de Bèze (Côte-d'Or)
Rens. : 03.80.75.31.33.
- Grotte de Tourtoirac (Dordogne)
Rens. : 05.53.50.24.77.
- Grotte de la Glacière
L'endroit n'est qu'à 525 m d'altitude à 30 km de Besançon, mais avec ses températures négatives même en été, il peut abriter des formations naturelles de glace (Doubs).
Rens. : 03.81.60.44.26.

PHOTOS : B. RIEGER/HEMIS.FR - A. BAILLAUD/P3 - B. GARDEL/HEMIS.FR - B. RIEGER/HEMIS.FR - CG71 - P. BLACHIER/NATURIMAGES

HISTOIRE

Le passé toujours vivant

Sous nos pieds ou cachés dans d'anonymes bâtiments, se cachent d'insoupçonnés témoignages de notre histoire.


AKG IMAGES

Le musée des Amériques

GERS Parmi les trésors que recèle ce musée figure la seconde plus grande collection d'art précolombien de France après celle du musée du Quai-Branly-Jacques-Chirac à Paris. Céramiques, orfèvrerie, textiles, plus de 400 œuvres originaires du Pérou, de l'Amérique centrale sont présentées. **B. A.**
Rens. : 05.62.05.74.79.

AUCH

G. GERAULT/HEMISFR

Le bâtiment carcéral et le phare de l'île du Diable, où fut détenu Alfred Dreyfus.

Le bagne de Guyane

GUYANE Ultime témoin continental des terres françaises d'Amérique, le département de la Guyane et ses 90 000 mètres carrés fut longtemps une terre « reléguée », une terre de « bagnards ». Dès 1854, sous le Second Empire, ses pénitenciers tristement célèbres reçurent des condamnés venus de France mais aussi de ses colonies. Des lieux de malheur où des transportés de droit commun autant que des déportés pour faits politiques furent soumis à des travaux forcés inhumains. Qu'il s'agisse des bagnes de Cayenne, de Saint-Jean ou de Saint-Laurent-du-Maroni, de l'île du Diable, au large de Kourou, ou encore celui des « Annamites » à Montsinery — où des prisonniers politiques indochinois furent transportés à l'époque coloniale —, leur visite est une exploration poignante de l'univers carcéral de l'histoire de France. B. A.
Rens. : 05.94.39.68.83.

CAYENNE

Les caves aux sculptures

MAINE-ET-LOIRE. *Ex-voto* de guérisseurs ? Lieux de rituels secrets ? À 30 km de Saumur, se cache dans le ventre creux du village de Dénézé-sous-Doué l'un des sites troglodytes les plus insolites. Il contient des bas-reliefs de petits personnages ciselés dans le tuffeau. **B. A.**
Rens. : 02.41.59.15.40.

C. PAUQUET / AGENCE VU

DÉNEZÉ-SOUS-DOUÉ

Le Panorama XXL

SEINE-MARITIME Depuis 2015, Rouen ressuscite une attraction du XIXe siècle : le panorama. D'immenses panneaux circulaires permettent une immersion dans un autre temps, un autre lieu. Les œuvres de l'artiste autrichien Yadegar Asisi s'y succèdent : Rome en 312, la forêt amazonienne, la Grande Barrière de corail ou, cet été, la cathédrale rouennaise vue par Monet. **M. N.**
Rens. : 02.35.52.95.29.

VENDEUIL-CAPLY

Ce chef-d'œuvre de l'art textile du XIVe siècle se déploie sur 141 mètres.

M. HOLET / BELPRESS/ANDIA.FR

La tapisserie de l'Apocalypse

MAINE-ET-LOIRE Un éblouissement. Nichée au cœur du château d'Angers, la tapisserie de l'Apocalypse étale ses 141 mètres de long sur 4,60 m de haut dans une salle qui lui est dédiée. Elle est composée de six pièces majeures mesurant chacune près d'une trentaine de mètres, représentant des scènes du dernier livre du Nouveau Testament. Cette merveille textile a été tissée sur des métiers dits de basse lisse voici 646 ans à la demande du duc Louis 1er d'Anjou, frère du roi de France Charles V, qui l'exposa lors du mariage de son fils en 1400. Déjà, à l'époque, elle constituait un véritable trésor, dont le coût considérable était *« de plus de 3000 francs »* selon les archives de la commande. C'est bien à tort qu'elle ne bénéficie pas aujourd'hui de la même notoriété que la broderie de Bayeux (XIe siècle) tant le travail des maîtres tapissiers du XIVe siècle est exceptionnel : réversible, ce chef-d'œuvre ne laisse aucun fil apparent sur ses deux faces et la maîtrise des détails est hors du commun. Son destin chaotique l'a grandement fragilisée, les principaux tableaux ayant été démontés — voire découpés — au fil des siècles avant d'être en partie réunis et conservés au château depuis 1954. L'ensemble a fait l'objet d'analyses récentes qui devraient déboucher prochainement sur un plan d'intervention afin d'en assurer la restauration. En mai 2021, une trentaine de fragments en ont été retrouvés dans les réserves d'une galerie privée parisienne et confiés aux responsables de ce patrimoine d'exception. **Carole Chatelain**

Rens. : 02.41.86.48.77 ; sciav.fr/893Apocalypse

ANGERS

RMN-GRAND PALAIS / B. TOUCHARD

BOULOGNE-SUR-MER

Les céramiques grecques du château-musée

PAS-DE-CALAIS Des trésors archéologiques se cachent derrière les murs du château fort de Boulogne-sur-Mer, érigé au XIIIe siècle et transformé en musée en 1988. Le plus grandiose : 470 céramiques grecques, soit la plus grande collection de France après celles du Louvre et de la Bibliothèque nationale. Constituée au milieu du XIXe siècle, elle compte des amphores, des vases destinés à la conservation des huiles et parfums (alabastres)… Ces pièces donnent à voir les différents styles artistiques de l'Antiquité et les thématiques (concours sportifs, scènes de guerre, mythes). La pièce majeure : une amphore représentant le suicide d'Ajax, attribuée à l'un des plus grands artistes grecs, Exékias (VIe siècle avant J.-C.). **V. G.**

Rens. : 03.21.10.02.20 ; sciav.fr/893Boulogne

L'église monolithe Saint-Jean

CHARENTE Creusée dans la falaise de la vallée de la Dronne, l'église monolithe remonte au XIIe siècle, avec le retour de croisade de Pierre de Castillon. Elle frappe par ses dimensions, avec des voûtes s'élevant à 20 m, et par la présence d'un monument ressemblant au tombeau de Joseph d'Arimathie de l'église du Saint-Sépulcre à Jérusalem. **D. J. L.**

Rens. : 05.45.98.65.06.

AUBETERRE-SUR-DRONNE

AUDREY DUSSUTOUR

Balade naturaliste entre forêt et causse

Cette spécialiste mondiale du blob — organisme unicellulaire ni végétal, ni animal, ni champignon — nous livre ses coups de cœur géographiques entre Aveyron et Haute-Garonne.

S. BORDIER / ANDIA.FR

Le village de Bozouls s'élève au-dessus d'une gorge entaillant le causse Comtal.

Audrey Dussutour est biologiste au CNRS de Toulouse et spécialiste reconnue du blob, « Physarum polycephalum ».

DAVID VILLA / SCIENCEIMAGE.CBI / CRCA / CNES / CNRS PHOTOTHÈQUE

« Enfants, nous allions avec mon père très tôt le matin dans le causse Comtal (Aveyron) à la cueillette des champignons. J'ai des souvenirs à 6 ans, le soleil se levant et moi trifouillant partout : ce qui m'intéressait, c'était les grillons. Ma fascination pour les sociétés animales vient de là. Mais ces insectes ne brillent que par leur cannibalisme, aussi suis-je allée voir du côté des fourmis. J'aimais les observer dans la forêt de Clairvaux (Aveyron). Devenue des années plus tard myrmécologue [spécialiste des fourmis], je ramassais la fourmi noire des jardins (Lasius niger) en face de mon labo à Toulouse. Le « Sentier nature » est un bois charmant entre l'université Paul-Sabatier et le canal du Midi ; problème, l'endroit n'est pas toujours bien fréquenté ! Impossible d'y travailler sans l'escorte d'un technicien de l'équipe…

En étudiant les « embouteillages » de fourmis, je me suis ensuite intéressée à une autre espèce aux colonies plus importantes, *Linepithema humile*. Nous creusions le sol à sa recherche dans l'arrière-pays de Leucate (Aude). Dans cette région proche des châteaux cathares, les promeneurs nous croyaient à la chasse au trésor ! Malheureusement, je n'ai plus de temps pour les fourmis, trop accaparée par le blob. J'aimerais travailler sur d'autres espèces que *Physarum polycephalum* : je « chasse » désormais le blob dans la forêt de Buzet (Haute-Garonne). Voici une technique : ramasser un bout de bois au sol et le mettre dans une boîte en plastique avec du papier absorbant mouillé. L'humidité réveille les microscopiques spores de blob cachées dans le bâton. Il mange les bactéries disponibles, grandit et devient visible. Mais il faut du temps. Et de la patience. » ■

Propos recueillis par Olivier Lascar

LE CAUSSE COMTAL

AVEYRON « La végétation y est très sèche, c'est un environnement de cailloux et d'arbustes », détaille Audrey Dussutour parlant du causse situé près de sa ville natale, Rodez. L'endroit est riche de « babissous », comme on surnomme certaines pleurotes en Aveyron.
Rens. : sciav.fr/893Causse

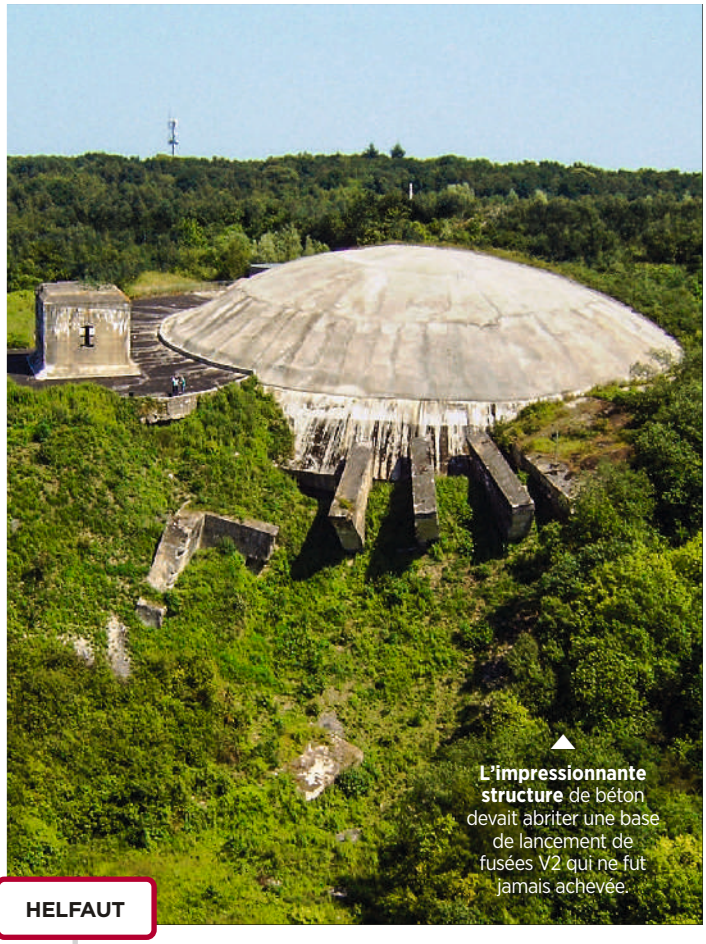
LA FORÊT DE CLAIRVAUX

AVEYRON La forêt de châtaigniers est prisée des amateurs de champignons pour la récolte des cèpes. *« Mais les bons coins restent secrets, même à l'intérieur des familles, on ne se refile pas de tuyaux »*, s'amuse Audrey Dussutour.
Rens. : sciav.fr/893Clairvaux

LA FORÊT DE BUZET

HAUTE-GARONNE Située au nord de Toulouse, elle est riche de feuillus, pas trop sèche, très ombragée… Un bon écosystème pour la récolte du blob, un organisme que l'œil non expert pourra facilement confondre avec des champignons ou des lichens.

F. SCHEIBER / HANSLUCAS



LA COUPOLE – PLANÉTARIUM 3D

L'impressionnante structure de béton devait abriter une base de lancement de fusées V2 qui ne fut jamais achevée.

HELFAUT

La Coupole

PAS-DE-CALAIS 91 mètres de diamètre, 55 000 tonnes de béton : ces deux chiffres disent tout du gigantisme de la coupole que l'on peut découvrir dans le village d'Helfaut. Posée au milieu de la végétation, dans une ancienne carrière, elle surmonte, enterré dans le sol, un bunker non moins impressionnant, mais aussi un réseau de tunnels, d'entrepôts, de casernes… C'est l'un des vestiges les plus monumentaux de la Seconde Guerre mondiale. Construit par les nazis en 1943-1944, il devait leur offrir un avantage décisif dans le conflit, en permettant le lancement de missiles V2 contre Londres et le sud de l'Angleterre, à une cadence industrielle (50 par jour). Ces projectiles, développés par le IIIe Reich, sont à l'origine des missiles thermonucléaires et de tous les lanceurs spatiaux modernes. Leur concepteur, Wernher von Braun, a lui-même joué un rôle majeur dans le développement des premières fusées américaines. Mais aucun V2 n'a jamais été tiré de cette base, le lieu ayant été massivement bombardé par les Alliés. Il fut abandonné pendant l'été 1944, à la suite du débarquement de Normandie. L'effrayant bunker est devenu un musée en 1997. Deux parcours s'offrent au visiteur, dans les gigantesques tunnels qui mènent sous le dôme. Documents d'époque (photos, films, affiches…), maquettes à grande échelle et même véritables missiles jalonnent le premier circuit, consacré à von Braun et ses fusées, de leur développement à la conquête spatiale. Le second parcours, lui, plonge le visiteur dans le quotidien des habitants du nord de la France sous l'Occupation. **Vincent Glavieux**

Rens.: 03.21.12.27.27 ; sciav.fr/893Coupole

Le musée Georges-Labit

HAUTE-GARONNE Cette magnifique villa mauresque a été édifiée à la fin du XIXe siècle par le collectionneur toulousain Georges Labit, grand voyageur de l'Afrique du Nord à la Scandinavie, et bien sûr en Asie, à laquelle, avec l'Égypte, ce petit musée est consacré. Au nombre de ses merveilles, une momie, vedette des lieux, ou cette sculpture égyptienne d'un émouvant couple où l'épouse tient une fleur de lotus, l'époux un « nœud de vie » et leur petite fille sa colombe. Un bouddha khmer assis sur le naga Mucilinda voisine avec une collection tibétaine (un double vajra, des bols chantants) et des objets et estampes du Japon. Ne pas manquer ce buaku (masque de théâtre) devant lequel on peine à ne pas voir feu Jacques Chirac ! **D. J. L.**

Rens.: 05.31.22.99.80 ; sciav.fr/893Labit

TOULOUSE

MAIRIE DE TOULOUSE, MUSÉE GEORGES-LABIT

Statuette d'Amon rapportée d'Égypte par Georges Labit.

NANTES

Le Mémorial de l'abolition de l'esclavage

LOIRE-ATLANTIQUE Nantes fut le premier port français négrier au XVIIIe siècle. La ville assume ce passé en le revisitant avec ce mémorial ouvert en 2012. Le lieu n'occulte rien des familles qui se sont enrichies mais dépasse le cadre de l'histoire locale pour embrasser l'ampleur de l'esclavage dans le monde. **L. C.**

Rens. : sciav.fr/893Memorial

KHARBINE TAPABOR

PARIS

Le musée de la Préfecture de police

PARIS Peu connu, l'espace ne paie pas de mine, dans les étages du commissariat du 5e arrondissement. Ses collections relatent pourtant une histoire de premier ordre : la création et le développement de la police en France, à partir du premier lieutenant général de police de Paris en 1667, jusqu'à la participation des policiers à la libération de la capitale en août 1944. L'histoire de France défile, au travers d'archives comme le registre d'écrou (consignant l'identité des détenus) de la Bastille ou la nomination de l'ancien bagnard Eugène-François Vidocq comme chef de la sûreté. La motorisation, les innovations du préfet Lépine ou l'anthropométrie judiciaire *(photo)* d'Alphonse Bertillon ont des places de choix. **A. D.**

Rens. : 01.44.41.52.50 ; sciav.fr/893prefecture

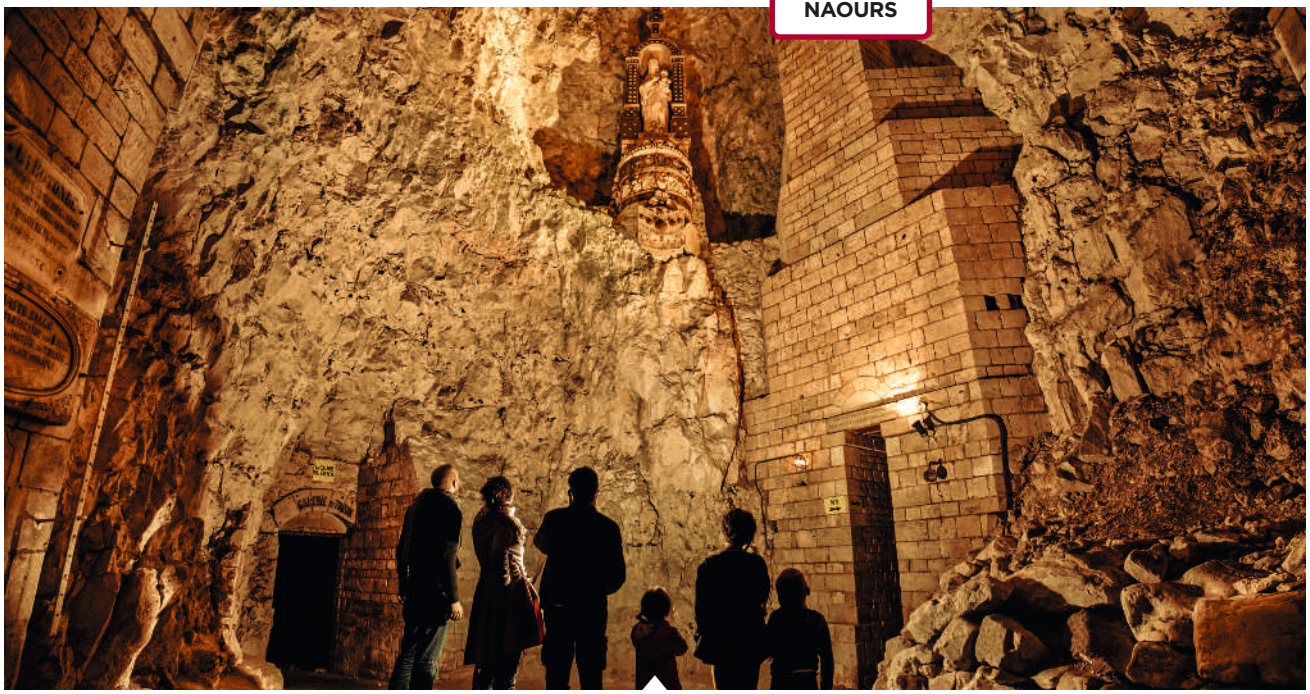
LÈGE-CAP-FERRET

Le bunker allemand restauré

GIRONDE Vestige du mur de l'Atlantique abandonné en août 1944, le blockhaus au pied du phare du cap Ferret a été désensablé et restauré au début des années 2010. Une salle de vie a été reconstituée et une autre abrite une petite exposition. **H. J.**

Rens. : 05.57.70.33.30.

NAOURS



JÉRÔME HALÂTRE

D'anciennes carrières ont été aménagées au fil des siècles pour servir de refuge, constituant un véritable village avec sa chapelle, ses places publiques…

La cité souterraine et ses graffitis

SOMME Henry James Browne, Herbert John Leach, Erroll Remfry Kittson… Comme ces trois soldats, des milliers de combattants de la Première Guerre mondiale ont visité la cité souterraine de Naours à l'occasion de leur temps de repos, à quelques kilomètres du front, et gravé une multitude d'informations sur ses parois en craie : dates, noms, prénoms, villes et pays d'origine, numéros de matricule, bataillons… La découverte de ces graffitis remonte à 2014 et, depuis, les archéologues travaillent à reconstituer l'histoire et le destin des hommes qui se trouvent derrière ces inscriptions.

Curiosité touristique pour les uns, les galeries souterraines de Naours, creusées par l'homme dans un plateau calcaire à 33 mètres sous le sol, ont surtout servi comme carrières et lieu de refuge pour les habitants des alentours en temps de guerre. Les premières traces d'occupation remontent au Moyen Âge et ont duré jusqu'au début du XVIIIe siècle. Au fil du temps s'est constitué un véritable village souterrain, avec des espaces publics, une chapelle, un grenier à sel, des étables et un astucieux système de cheminées horizontales, qui permettaient de se chauffer sans se faire remarquer. Le lieu, tombé dans l'oubli, fut redécouvert en 1887 par un abbé du coin piqué d'archéologie. Le site est déblayé, remis en état et ouvert au public. Un conseil : prévoyez des vêtements chauds et une lampe de poche, la température est basse (environ 9 °C) et l'éclairage, faible.

Vincent Glavieux

Rens. : 03.22.93.71.78 ; sciav.fr/8939Naours

MÉGALITHISME

Les innombrables routes des colosses de pierre

Dolmens, menhirs, cairns, alignements… C'est en Bretagne, au Ve millénaire avant notre ère, qu'est né le mégalithisme européen. Mais les 4700 géants de pierre recensés se rencontrent sur tout le territoire.

Par Bernadette Arnaud

LE MENHIR CHRISTIANISÉ DE SAINT-UZEC

▸ **CÔTES-D'ARMOR** Avec sa croix et ses gravures ajoutées en 1674, ce bloc de granit de 80 tonnes dressé à Pleumeur-Bodou est un témoin spectaculaire de la volonté de l'Église d'assimiler d'anciens cultes païens.

TUMULUS DES BONNETTES

▸ **PAS-DE-CALAIS** La légende du tumulus des Sept Bonnettes est celui de la transformation en pierre de sept jeunes filles qui avaient entrepris de danser au sommet de ce cromlech de 38 m de long.

DOLMEN DU BOIS DE LA GRANDE BAY

▸ **HAUTE-MARNE** Restauré en 2005 et situé au milieu des bois, ce coffre mégalithique est situé à l'est de Rochefort-sur-la-Côte.

MENHIR DE LA PIERRE PERCÉE

▸ **INDRE-ET-LOIRE** Parfois appelé Pierre des Érables, ou Bogue de Gargantua, il est à l'origine de nombreuses croyances.

DOLMEN DE L'UBAC

▸ **VAUCLUSE** Ce dolmen funéraire de 12 m de diamètre a été découvert par hasard lors d'une crue en 1995 à Goult.

ALIGNEMENTS D'I STANTARI

▸ **CORSE-DU-SUD** Parmi une trentaine de monolithes, 7 statues-menhirs sont dressées en deux files, à 16 km de Sartène.

DOLMEN DE CHAMPVERMEIL

▸ **ARDÈCHE** Ce département compte pas moins de 800 mégalithes ! Parmi eux, ceux de la commune de Bidon, dont ce dolmen qui était autrefois surmonté d'un tumulus.

PHOTOS: H.KRINITZ/HEMIS.FR - JALBATROS-CC BY-SA 4.0 - M. CASAMANCE CC BY-SA 4.0 - C. MOIRENC/HEMIS.FR - NORD DÉCOUVERTE - S. ZIMMERMANN GAUTHERON/OT PAYS DE CHAUMONT EN CHAMPAGNE - BESENBINDER CC BY-SA 4.0

YVES COPPENS

Sur la terre sacrée des Bretons

Le célèbre paléoanthropologue breton revient sur ses émerveillements devant la diversité et le nombre de menhirs et dolmens entre Morbihan et Finistère.

ANDBZ/ABACA

Le grand cairn de Barnenez, à Plouezoc'h (Finistère), mausolée mégalithique.

Yves Coppens, dont le nom est immanquablement associé à celui de l'australopithèque Lucy, est paléo-anthropologue. Professeur émérite au Collège de France, il a été sous-directeur au musée de l'Homme.

S. SORIANO/FIGAROPHOTO.COM

« Je suis né à Vannes, dans le Morbihan, et lorsque j'étais enfant, je me disais que cette terre était sûrement sacrée. La région située entre la rivière d'Étel, à l'ouest, et la partie est du golfe du Morbihan recèle la plus grande densité et diversité de menhirs, tumulus et dolmens de Bretagne. Sur 350 km², il y a 12 000 menhirs et trois gros tumulus, 200 dolmens à couloir et chambres sépulcrales, plus une centaine de tertres funéraires ! C'est une sorte d'immense nécropole qui s'est construite entre le cinquième millénaire et le deuxième millénaire avant J.-C.

Où aller ? Je vous emmènerais volontiers découvrir un bijou : le tumulus de Kercado, entouré d'un cercle de pierre, au cœur de la forêt de Carnac. Dessous, il y a un dolmen visitable avec des dalles gravées. Sur la route de Plouharnel, allons ensuite au dolmen de Crucuno, une tombe mégalithique énorme avec sa dalle de 40 tonnes reposant sur 9 dalles verticales (« orthostates »). Il était autrefois couvert de terre.

Filons enfin au nord-ouest du Finistère, sur la commune de Ploudalmezeau. À marée basse, on accède au cairn de l'île de Carn, sous lequel j'ai découvert une coupole de granit lorsque j'avais 20 ans*. Imaginez mon émerveillement ! Cette trouvaille montre que la région était un foyer mégalithique. Toujours dans le Finistère, autre souvenir de fouilles, le cairn de Barnenez, au bord de la rivière de Morlaix, à Plouezoc'h. C'est l'un des plus grands et plus vieux mausolées mégalithiques d'Europe. Il comprend 12 dolmens et a servi de sépulture pendant 3000 ans. ■

Propos recueillis par Rachel Mulot

LES SITES DE LA VALLÉE DE LA VÉZÈRE

DORDOGNE « Les sites préhistoriques et grottes ornées de la vallée de la Vézère constituent un ensemble exceptionnel répartis sur 40 km entre Les Eyzies-de-Tayac et Montignac. Suivre la Dordogne, c'est nouer un lien avec ces ancêtres qui en ont occupé les rives et ont laissé des témoignages tel Lascaux. »

L'EFFONDREMENT FRANCE-ALLEMAGNE

VOSGES « Sur la route des Vosges, en descendant vers la plaine d'Alsace, le paysage montre un effondrement, daté de -30 à -23 millions d'années. Autrefois, il y avait un seul massif, composé des Vosges, côté français et de la Forêt-Noire, côté allemand. Le Rhin a creusé son sillon au milieu de cette fracture. »

LA « MER » DES ARDENNES

ARDENNES « À hauteur de Charleville-Mézières et jusqu'à Monthermé, le long des méandres de la Meuse, on voit les anciennes couches marines du Bassin parisien, datées du jurassique et du crétacé, venir buter contre le massif ardennais, vieux de 500 millions d'années au moins. »

J-M QUINET/BELPRESS/ANDIA

PRÉHISTOIRE

Témoignages de nos ancêtres

Au long d'un chemin, dans une clairière ou au cœur des villes et villages, il suffit de faire quelques détours pour découvrir des sites et objets fascinants.

A. BRUSINI/ HEMIS.FR

Ces pétroglyphes auraient été gravés au IIIe ou IVe siècle par les indiens Arawaks.

Le parc archéologique des roches gravées

GUADELOUPE Nichées dans un magnifique paysage volcanique à la végétation luxuriante, 22 roches ornées de 230 dessins gravés ont été découvertes au XIXe siècle. Leur origine n'est pas encore tranchée. Mais la comparaison avec des motifs peints sur des céramiques anciennes laisse penser qu'elles dateraient du IIIe au IVe siècle et auraient donc été gravées par les Arawaks, des Amérindiens venus de la forêt amazonienne. Ce gisement archéologique est d'une grande importance pour l'histoire des Antilles précolombiennes. À visiter de préférence le matin pour bénéficier d'une lumière mettant en relief les pétroglyphes. S. R.

Rens. : 05.90.92.91.88.

TROIS-RIVIÈRES

RMN-GRAND PALAIS (MUSÉE D'ARCHÉOLOGIE NATIONALE)

Le PréhistoSite de Brassempouy

LANDES Les touristes sur les plages landaises ignorent souvent que dans ce même département se trouve un site préhistorique connu pour avoir livré neuf statuettes féminines en ivoire de mammouth, dont la fameuse Dame à la capuche *(photo ci-dessus)*, l'une des plus anciennes représentations connues du visage humain (-28 000 à -22 000 ans). Un espace muséal lui est dédié avec des reconstitutions d'habitats. **L. L.**

Rens. : 05.58.89.21.73

BRASSEMPOUY

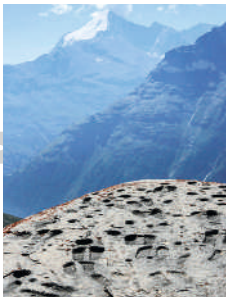
La grotte de Rouffignac

DORDOGNE Au cœur du Périgord noir, entre Bergerac et Sarlat, s'étire dans la grotte de Rouffignac un véritable labyrinthe souterrain aux parois décorées de mammouths, mais aussi des bisons, chevaux, bouquetins ou rhinocéros laineux tracés il y a 15 000 ans. Un voyage dans le temps que l'on peut effectuer à bord d'un petit train. **B. A.**

Rens. : 05.53.05.41.71

ROUFFIGNAC-SAINT-CERNIN-DE-REILHAC

VAL-CENIS



J. BRUNET-MANQUAT/NATURIMAGES

La Pierre aux Pieds

SAVOIE En Haute Maurienne, plusieurs pierres gravées témoignent des premières activités humaines sur le site. Parmi celles-ci, la Pierre aux Pieds, classée monument historique, est sans doute la plus spectaculaire.
On y accède au terme de 3 heures de montée au cœur du Parc national de la Vanoise. Là, à 2750 mètres d'altitude, entre 700 et 200 avant notre ère, des humains ont gravé un grand bloc de schiste de 6 m de diamètre. On n'y dénombre pas moins de 82 empreintes de petits pieds (20 à 25 cm environ, sans doute d'enfants), et 80 cupules (petites entailles hémisphériques). Un lieu de culte ou de rituels ? Leur signification reste un mystère. **V. C.**
Rens. : 04.79.05.23.66 ; sciav.fr/893Valcenis

Le mont Bégo

ALPES-MARITIMES
Fréquemment frappé par la foudre en raison de ses 2872 mètres d'altitude et de sa forte teneur en fer et uranium, le mont Bégo était un lieu de séjour et de culte il y a 5000 ans. Aujourd'hui encore, on peut y retrouver des milliers de gravures rupestres qui comptent parmi les plus anciennes « écritures » de l'histoire de l'humanité. **V. C.**
Rens. : 04.93.04.64.64

BRIDGEMAN IMAGES

Mammouths et bovins sont à découvrir dans cette grotte qui reste ouverte au public.

Le musée de Préhistoire de Solutré

SAÔNE-ET-LOIRE
Ce musée se situe au pied de la Roche de Solutré, là où, à partir de 1866, des fouilles ont révélé les restes de milliers de chevaux *(photo ci-dessous)*. Il est dédié aux découvertes exceptionnelles faites sur ce site de chasse du paléolithique supérieur, datant de plus de 20 000 ans. La visite se poursuit dehors, sur un sentier balisé évoquant les techniques de chasse, les paysages et la géologie de l'époque. **A. D.**
Rens. : 03.85.35.82.81.

M. CAVALIER/HEMIS.FR

TENDE

La grotte du Pech Merle

LOT Parce qu'elle demeure l'une des dernières grottes ornées de France encore accessibles au public, Pech Merle, près de Cahors, sur les plateaux du Quercy, vaut vraiment le détour. En particulier pour ses somptueuses compositions pariétales, à l'instar de ses célèbres chevaux mouchetés, en plus d'une centaine d'autres peintures préhistoriques. Réalisées il y a plus de 30 000 ans, ces figures semblent dialoguer avec les formes rocheuses d'un écrin géologique à la morphologie surprenante. Laissés également par les artistes du paléolithique, sur de grands plafonds, des mètres de tracés digitaux entremêlés contiennent des profils de femmes à corps sans tête. Un musée complète la visite, pour en savoir plus sur les 350 000 ans d'histoire de la région. **B. A.**
Rens. : 05.65.31.27.05 ; sciav.fr/893Pechmerle

CABRERETS

F. GUIZIOU/ HEMIS.FR

SOLUTRÉ-POUILLY

2000 sites gravés sont répertoriés dans la forêt de Fontainebleau remontant pour certains à la préhistoire comme cette roche ornée de sillons et d'une tête de cerf.

E. BRETEAU

Le Sentier de l'art rupestre

SEINE-ET-MARNE Le massif forestier de Fontainebleau, qui comprend la forêt du même nom, celle des Trois Pignons et celle de la Commanderie, est une véritable machine à remonter le temps. Il héberge 2000 abris gravés, répertoriés depuis 1975 et dont les dessins, figuratifs ou symboliques, datent de la préhistoire aux deux guerres mondiales, en passant par l'âge du fer et le Moyen Âge. En fonction des époques, les chercheurs ont noté des spécificités iconographiques : il y a les quadrillages emblématiques de l'art rupestre de Fontainebleau, gravés au silex, datés du mésolithique, des êtres à coiffe de plumes du néolithique ou encore ce chevalier tracé au Moyen Âge. « *Dans la forêt des Trois Pignons ont séjourné des Résistants qui eux aussi ont gravé les blocs rocheux, notamment en inscrivant des noms de personnes et des dates* », souligne Sophie David, cheffe de projet Forêt d'exception-massif de Fontainebleau auprès de l'Office national des forêts. Ces gravures ont subi l'érosion, des feux de bivouac pourtant interdits, et des dégradations volontaires. « *Ce patrimoine est fragile, il ne faut absolument pas y toucher* », martèle la spécialiste. Aussi, un sentier de l'art rupestre (difficile à pratiquer avec une poussette) reproduit et explique les pétroglyphes du massif de Fontainebleau, permettant ainsi de découvrir ce patrimoine méconnu tout en préservant les inscriptions originales. **Anne-Sophie Tassart**

Rens. : sciav.fr/893Fontainebleau

LE VAUDOUÉ

BALAZUC

Le muséum de l'Ardèche

ARDÈCHE C'est dans l'un des plus beaux villages de France, accroché aux falaises des bords de l'Ardèche, que ce muséum a ouvert ses portes voici cinq ans. Au programme : une fascinante exploration de 500 millions d'années d'histoire à travers de près de 600 fossiles. La plupart des pièces présentées sont considérées comme d'intérêt scientifique majeur : du requin de 165 millions d'années à la plus ancienne pieuvre connue, en passant par un crapaud *(photo)* sans oublier la plus ancienne châtaigne d'Ardèche ! Ouverte en 2020, la galerie des dinosaures s'étend sur 90 m². Des ateliers pour les enfants et des balades « Nature et paysage » sont proposés durant toute la saison. **C. C.**

Rens. : 04.28.40.00.35 ; sciav.fr/893Ardeche

P. BLACHIER/NATURIMAGES

Terra Amata

ALPES-MARITIMES En 1966, un site préhistorique est découvert lors de la construction d'un immeuble à Nice. Un musée, qui expose les objets découverts (bifaces, empreinte de pied, hachereaux) a été aménagé sur place. Il raconte la vie quotidienne de chasseurs il y a 400 000 ans quand on commençait à maîtriser le feu. **A. D.**

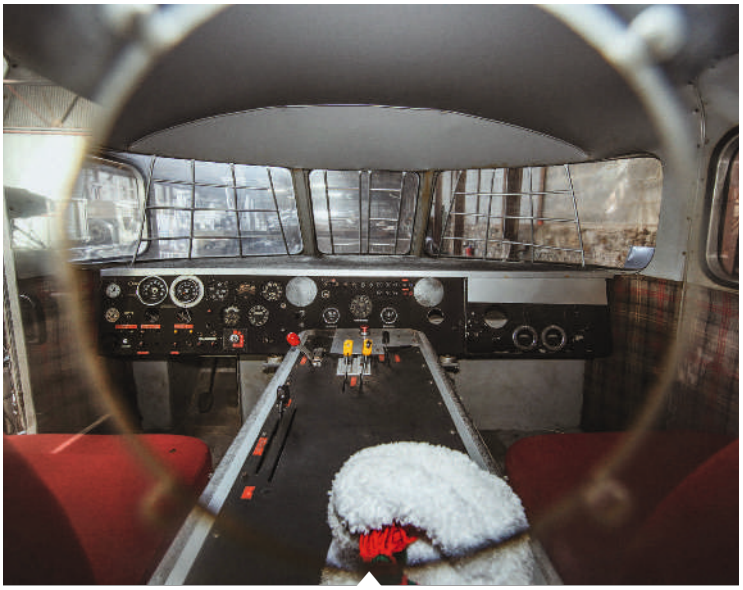
Rens. : 04.93.55.59.93.

NICE

PATRIMOINE

La mémoire en partage

La France regorge d'initiatives pour conserver et mettre en valeur son patrimoine. Autant de petites machines à remonter le temps.



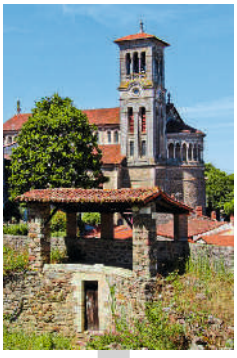
L. GRANDGUILLOT/REA

L'engin monorail a atteint, en 1974, la vitesse de 430,4 km/h ; un record mondial !

La voie d'essai de l'aérotrain

ESSONNE Un rail en béton en forme de « T » inversé. C'est l'une des voies d'essai de l'aérotrain, entre Gometz-la-Ville et Limours, outre celle, en viaduc, d'Orléans. Quand le prototype de l'ingénieur Jean Bertin établit le record mondial de vitesse d'un transport guidé avec 430,4 km/h le 5 mars 1974, il est déjà condamné. Ce bel oiseau, qui ne décolle que de quelques millimètres pour glisser sur un coussin d'air, ne roulera jamais en service commercial. Le rail est laissé à l'abandon. Mais en 2013, une voie verte réservée aux vélos et randonneurs est créée à cet endroit. Cette balade familiale de 4 kilomètres environ est l'occasion de découvrir l'invention et la vie de Jean Bertin grâce à des panneaux explicatifs. **L. L.**

Rens. : Voie verte de l'aérotrain en accès libre ; sciav.fr/893Aerotrain

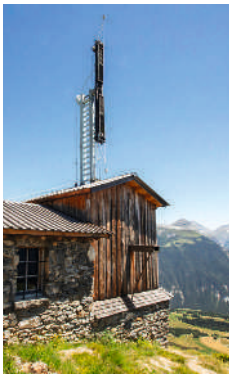


GILE / ANDIA.FR

La cité toscane

LOIRE-ATLANTIQUE. Détruite par les guerres de Vendée, Clisson est rebâtie au début des années 1800 par deux faïenciers de Nantes. Amateurs d'art, ils restituent une ambiance d'Italie rustique et de Toscane, à s'y méprendre. **A. D.**

Rens. : sciav.fr/893Clisson



D.GREYO/NATURIMAGES

Le télégraphe de Chappe

SAVOIE Un système de télégraphie optique mis au point par le physicien Claude Chappe est mis en place en 1793 de la France à l'Italie. Le poste *(photo)* situé dans le parc national de la Vanoise, à 2004 m d'altitude, entièrement restauré, fait partie de la vingtaine qui subsiste. **C. C.**

Rens. : 06.69.65.15.51.

La mine témoin

GARD Il est de nouveau possible d'emprunter le chemin des « gueules noires » cévenoles pour découvrir 700 mètres de galeries. Au fond, une rétrospective saisissante de l'histoire minière attend le visiteur. **H. J.**

Rens. : 05.53.06.45.45.

CLISSON

GOMETZ-LA-VILLE

VAL-CENIS

ALÈS

Le château de Brest, tour à tour camp romain, forteresse médiévale puis citadelle remaniée par Vauban, abrite aujourd'hui le Musée national de la marine.

H. RONNE/REA

Le Musée national de la marine

FINISTÈRE Fondé à l'époque romaine, le château de Brest était considéré au Moyen Âge comme l'un des plus forts du monde. Autour de son éperon rocheux s'est développé l'un des plus grands ports français. Ce monument exceptionnel abrite aujourd'hui le musée de la Marine, qui témoigne de dix-sept siècles d'histoire maritime, intimement liée à l'arsenal de Brest, d'où sont sortis nombre de navires emblématiques de la flotte française. Sous le règne de Louis XIV, les vaisseaux de guerre commencent à arborer de somptueuses décorations de bois. Les ateliers de sculpture brestois vont alors acquérir une large renommée, notamment grâce au talent d'Yves Collet, dont on aperçoit encore la demeure (la maison de la Fontaine) depuis le chemin de garde du château. Les figures de proue, de poupe et autres bustes de bois exposés donnent à voir la splendeur des navires de l'époque et une riche collection de maquettes de bateaux, de peintures et d'objets témoignent de la grande aventure maritime… et de la vie des bagnards, qui constituaient une main-d'œuvre corvéable à merci. L'expédition Lapérouse d'exploration du Pacifique occupe également une bonne place dans le parcours muséal. C'est de Brest, en effet, qu'elle leva l'ancre en 1785, avant de s'échouer aux îles Salomon trois ans plus tard. En 2003, un squelette a été découvert dans l'épave de *La Boussole*, l'une des deux frégates de l'expédition. Baptisé « L'inconnu de Vanikoro », il repose aujourd'hui sous une stèle, dans la cour du château. **Sylvie Rouat**

Rens. : 02.98.22.12.39. sciav.fr/893Brest

BREST

LOISON

PORTES DE VERDUN

Le camp Marguerre

MEUSE À 15 km de Verdun, la forêt de Gouraincourt abrite le camp Marguerre, ancienne base de l'arrière-front allemand. Sous la direction du capitaine Hans Marguerre, cette cité pionnière a accueilli dès 1915 une centrale à béton pour réaliser des prototypes d'abris préfabriqués et tester les utilisations de ce matériau indispensable à la guerre de position. On y découvre des blockhaus et baraquements montrant toute la gamme de coffrages expérimentés, ainsi que le chemin de fer qui apportait l'acier de la Ruhr (Allemagne) et les galets de Moselle. Après-guerre, le camp deviendra un réservoir de matière première pour la reconstruction. **R. M.**

Rens. : 03.29.85.56.26 ; sciav.fr/893Marguerre

Le château de la Verrerie

SAÔNE-ET-LOIRE De cette ancienne manufacture de cristaux de la reine Marie-Antoinette, la famille Schneider, grand nom de la métallurgie française, avait fait un lieu de résidence et d'apparat. Dans l'un des fours de la cristallerie, se niche un petit théâtre. La demeure abrite aujourd'hui un musée sur les Schneider et leurs usines. **A. D.**

Rens.: 03.85.55.02.46.

LE CREUSOT

A. CHICUREL/HEMIS.FR

Les salines royales

DOUBS C'est à la demande de Louis XV que l'architecte Claude Nicolas Ledoux (1736-1806) signa ce qui restera comme son chef-d'œuvre. Une manufacture de production de sel, où était acheminée une partie de la saumure des sources salées de Salins-les-Bains grâce à un « saumoduc » souterrain de 21 km. L'architecture en arc de cercle offre une symétrie méritant à elle seule le détour. L'intérieur de la saline, inscrite au patrimoine de l'humanité par l'Unesco en 1982, est aujourd'hui un musée où quatre expositions permanentes reviennent sur l'histoire du lieu, sur Claude Nicolas Ledoux ou sur l'histoire du sel dans l'humanité (origines, usages, commerce...). **H. J.**

Rens : 03.81.54.45.00. ; sciav.fr/893Salineroyale

ARC-ET-SENANS

N. BARREAU/MAXPPP

BESANÇON

Le musée du Temps

DOUBS Au XIXe siècle, Besançon devient la capitale de l'horlogerie française. Le musée présente le matériel pédagogique de l'École nationale d'horlogerie, fondée en 1860, et des instruments de l'observatoire astronomique de Besançon. Ne pas rater la « Leroy 01 », longtemps considérée comme la montre la plus compliquée au monde. **F. D.**

Rens. : 03.81.87.81.50.

LEWARDE

P. FORGET/SAGAPHOTO

La « salle des pendus », à la fois salle de douche et vestiaire où les mineurs suspendaient leurs effets.

Le Centre historique minier

NORD L'extraction du charbon aura profondément marqué l'histoire du Nord-Pas-de-Calais durant près de trois siècles (1720-1990). Plus de deux milliards de tonnes de ce minerai auront été récupérées dans le gisement houiller de la région, qui s'étend sur environ 120 kilomètres de long, 12 km de large (à son maximum) et 1,2 km de profondeur. De 1930 à 1960, 200 000 personnes en moyenne seront employées à l'extraction d'environ 30 millions de tonnes par an.

L'histoire de ce bassin minier, classé au patrimoine mondial de l'Unesco depuis 2012, est contée au Centre historique minier de Lewarde. Installé sur le site de la fosse Delloye, il reconstitue la vie des mineurs dans les lieux où ils passaient chaque jour : salle dite des pendus (vestiaire), lampisterie, estaminet (café), etc. Moment fort de cette immersion : la visite guidée de 450 mètres de galeries reconstituées. On y découvre l'évolution des technologies utilisées pour extraire le charbon et l'extrême rudesse des conditions de travail des mineurs (chaleur, poussière, niveau sonore infernal, matériel très lourd).

En surface, le centre consacre une partie de ses expositions permanentes au patrimoine architectural du bassin minier : chevalements métalliques dédiés au transport du personnel, du matériel et du minerai, cités ouvrières au style parfois flamboyant, équipements collectifs... Autant d'éléments qui font toujours partie intégrante des paysages de la région. Tout comme les terrils, ces montagnes artificielles faites de résidus de l'exploitation minière, dont on découvre aujourd'hui qu'ils abritent une grande biodiversité. **Vincent Glavieux**

Rens. : 03.27.95.82.82. sciav.fr/893CHM

FOSSILES

Suivre les dinosaures à la trace

La plupart des empreintes de dinosaures découverts en France sont exposées dans des muséums. Mais il existe d'autres lieux et sites ouverts cet été où l'on peut ressusciter leur mémoire.

Par Rachel Mulot

P. DUMAS / LOOKATSCIENCES

PLAGE AUX PTÉROSAURES DE CRAYSSAC

LOT À 10 min de Cahors, une ancienne plage du jurassique, vieille de 150 millions d'années, conserve des empreintes de dinosaures, ptérosaures, tortues et crustacés.

Rens. : 05.65.23.32.48. sciav.fr/893Crayssac

D. BRINGARD / HEMIS.FR

PISTE DES DIPLODOCUS

JURA L'un des dix plus importants sites d'empreintes de dinosaures au monde, avec ses 1500 traces de pas que les visiteurs peuvent admirer du haut d'une passerelle.

Rens. : 03. 84.52.43.67. sciav.fr/893Diplo

LE MUSÉE DES DINOSAURES

MUSÉE DES DINOSAURES

AUDE Le plus grand gisement français, celui de Bellevue à 3 km d'Espéraza, a livré des titanosaures, des oiseaux géants, des ankylosaures et de grands théropodes.

Rens. : 04.68.74.26.88. sciav.fr/893Esperaza

CMB / CD39

EMPREINTES DE COISIA

JURA Découvertes en 2004, ces empreintes de sauropodes de 30 tonnes, ont été laissées il y a 140 millions d'années sur le sol meuble d'une lagune. Curieusement, elles se situent sur une paroi verticale.

Rens. : 03.84.87.35.91. sciav.fr/893Coisia

PLAINE DES DINOSAURES

MUSÉE PARC DES DINOSAURES

HÉRAULT À Mèze, le plus grand musée d'Europe consacré aux dinosaures est situé dans un gisement paléontologique exceptionnel qui a livré de nombreux nids d'œufs de dinosaures, à partir de 1996.

Rens. : 04.6.43.02.80. sciav.fr/893Dinos

P. BLACHIER / NATURIMAGES

EMPREINTES À TROIS DOIGTS

LOZÈRE Le site du Castellas est une merveille, avec ses empreintes à trois doigts de petits théropodes, moulées dans de fines couches de dolomies.

Rens. : sciav.fr/893Treves

LAURENCE DEVILLERS

Les secrets du Pays basque

La chercheuse et professeure en intelligence artificielle nous décrit avec bonheur une région authentique dotée d'une côte réputée chez les surfeurs du monde entier pour ses vagues, notamment l'une d'elles, la Belharra.

B. RIEGER/ HEMIS.FR

Depuis le chemin de la corniche, la vue embrasse la côte basque.

LEA CRESPI / PASCO AND CO

Laurence Devillers, chercheuse et professeure en intelligence artificielle à Sorbonne Université/ CNRS-LISN. Elle est l'auteure des *Robots émotionnels* (2020) et *Des robots et des hommes* (2017).

« Dès que je le peux, je pars me ressourcer dans le Sud-Ouest, sur la côte basque, ou s'entremêlent demeures des années 1930 et villages de pêcheurs, jadis de pêche à la baleine. J'aime son authenticité, ses couleurs et ses secrets. C'est un rêve de sillonner l'arrière-pays, de découvrir ses paysages vallonnés, ses charmantes bourgades. J'aime aussi à me promener sur le chemin de la corniche entre Saint-Jean-de-Luz et Biarritz. C'est à l'occasion du tournage du film *Le soleil se lève aussi*, adaptation du roman d'Ernest Hemingway, que deux Californiens ont fait connaître le surf à Biarritz. La première tentative a eu lieu sur les vagues de la côte des Basques.

Même s'il existe aujourd'hui des modèles physiques, reposant sur la mécanique des fluides, qui décrivent la forme des vagues, en fonction du vent et de la topologie des fonds marins, la mer garde encore bien des secrets et aucune théorie ne fait encore l'unanimité concernant la formation des vagues gigantesques. Or un phénomène rare et inattendu provoque — selon certaines conditions météorologiques — la formation d'une vague géante au large des côtes du Pays basque à 3 kilomètres de la côte à Urrugne : la Belharra. Chacune de ses apparitions est un événement exceptionnel. Les surfeurs les plus expérimentés du monde entier se donnent rendez-vous pour l'affronter. Un spectacle saisissant auquel j'ai eu le plaisir d'assister le 25 février 2020, du haut de la corniche Basque, véritable promontoire naturel." ■

Propos recueillis par Carole Chatelain

LA PLAGE D'ERRETEGIA
PYRÉNÉES-ATLANTIQUES

« Le combat est infini contre l'érosion, la corniche s'effrite. En moyenne, cette côte rocheuse recule de 20 cm par an. À la plage d'Erretegia, quartier du nord de Bidart, des espèces végétales locales ont été plantées pour enrayer le recul du trait de côte. » *(lire aussi p. 29.)*

LE RAYON VERT
PYRÉNÉES-ATLANTIQUES

« Le rayon vert fascine sur la côte basque, sans doute également à cause du film d'Éric Rohmer tourné à Biarritz. Ce phénomène optique rare est dû à la dispersion de la lumière par un prisme et à sa diffusion par l'atmosphère. Il peut être vu juste après le coucher ou avant le lever du Soleil sous forme d'un point ou trait vert durant un court instant au-dessus de l'astre à l'horizon. »

VILLA ARNAGA-MUSÉE D'EDMOND ROSTAND
PYRÉNÉES-ATLANTIQUES

« Cette région regorge de demeures hors du commun comme Arnaga, la maison que l'écrivain Edmond Rostand a conçue dans les moindres détails, dont un somptueux décor de théâtre, à Cambo-les-Bains. L'été, on joue *Chantecler* ou *Cyrano* dans le jardin. »

P. HAUSER/ HEMIS.FR

IAN HANNING/REA

MARSEILLE

Le mémorial de « la Marseillaise »

BOUCHES-DU-RHÔNE De l'ancienne salle du jeu de paume, il ne reste plus que le « mur de bricole » sur lequel rebondissait l'éteuf, la balle. C'est dans ce lieu, devenu siège du club des Jacobins, que le 22 juin 1792 fut entonné pour la première fois le Chant de l'armée du Rhin qui deviendra *la Marseillaise*. Tour à tour théâtre, salle de concert et même bains publics, le site abrite désormais trois espaces thématiques consacrés à notre hymne national. L'occasion de découvrir ses multiples versions et interprétations mais aussi le déroulé de la Révolution à Marseille à travers des statues qui prennent voix. Et d'y rejouer, en sons et en images, le combat des sans-culottes et la marche des Marseillais vers la capitale, rythmée par les paroles de Rouget de Lisle. **J. I.**
Rens. : 04.91.55.36.00.

DAVEZIEUX

Le musée des Papeteries Canson et Montgolfier

ARDÈCHE C'est dans la maison natale des frères Montgolfier que l'on peut revivre l'histoire de leur papeterie. Les célèbres inventeurs lancèrent leur premier aérostat depuis la cour. Le musée expose de nombreux documents sur cette première conquête des airs. **C. C.**
Rens. : 04.75.69.89.20.

DIEPPE

2000 œuvres en ivoire sont exposées dans le château de la cité normande qui fut, dès le XVIe siècle, un grand centre du commerce et du travail de ce précieux matériau.

R. MATTES/ HEMIS.FR - GIANNI DAGLI ORTI / AURIMAGES

Les ivoires du musée-château de Dieppe

SEINE-MARITIME C'est une collection unique en France, la plus vaste présentation de pièces d'ivoire. Exposées dans les salles du musée-château de Dieppe dominant la ville et la mer, 2000 œuvres s'offrent aux regards toujours émerveillés des visiteurs. Extraordinaires maquettes de bateaux entièrement réalisées en ivoire (de la coque aux cordages), poignées de porte, cadrans boussoles du XVIIe siècle, objets religieux, râpes à tabac ou encore éventails, peignes, carnets de bal, pièces d'échiquier, statuettes... Toutes si finement travaillées qu'elles en évoquent la dentelle. Rassemblées depuis la seconde moitié du XIXe siècle, elles rappellent le prestigieux passé maritime de Dieppe intimement lié, dès le XVIe siècle, à cette substance minéralisée, dure et blanchâtre constituant les dents ou défenses de l'éléphant et de quelques autres animaux. L'ivoire était importé depuis le continent africain, débarqué sur les quais du port quand la ville comptait jusqu'à 300 ivoiriers dont le savoir-faire s'est transmis dans des certaines de familles jusqu'à cinq générations. Le musée a aussi reconstitué un atelier évoquant les outils et les techniques nécessaires pour ciseler ce matériau exotique aujourd'hui sévèrement réglementé. À la fois fragiles et robustes, les pièces continuent de fasciner. Voyage dans le temps garanti. Pour le prolonger hors du musée, allez trouver en ville la rue Ango. Elle porte le nom de l'un des plus riches armateurs de Dieppe, et abrite, au numéro 2, l'atelier de son dernier ivoirier. **Sylvie Riou-Millot**
Rens. : 02.35.06.61.99 ; sciav.fr/893Dieppe

LIEUX DE SCIENCE

Au plus près des chercheurs

Si certains lieux de recherche scientifique sont devenus des musées, des laboratoires en activité s'ouvrent aussi aux passionnés. Immersion garantie.

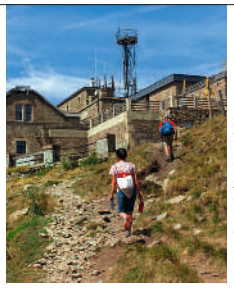
A. MAIA / SAIF IMAGES

Le laboratoire de Marie Curie a été reconstitué avec des élements d'époque.

Le musée Curie

PARIS En mai 1921, Marie Curie effectuait un voyage aux États-Unis au cours duquel elle s'est vu remettre un gramme de radium, d'une valeur de 100 000 dollars. Cent ans plus tard, le coffre en acajou qui a servi à son transport est visible au musée Curie, au sein de l'institut Curie. Comme son bureau, son laboratoire et son jardin reconstitués en 2017. Le reste de l'exposition retrace l'aventure scientifique d'une famille aux cinq prix Nobels : Pierre et Marie Curie (doublement nommée), mais aussi Irène, leur fille aînée, et son mari Frédéric Joliot-Curie, qui ont marqué l'histoire de la radioactivité. On y voit également quel engouement a suscité au début du XXe siècle leur découverte, dont est issue une kyrielle de produits, crèmes antirides ou layette… à base de radium ! S. R.
Rens. : 01.56.24.55.33 ; musee.curie.fr

PARIS



JM LALLEMAND / SAIF IMAGES

L'observatoire du mont Aigoual

GARD Au sommet du point culminant du département, se trouve le dernier observatoire météorologique de montagne en activité en France. Construit comme un château fort à la fin du XIXe siècle, un « météosite » propose un espace de 700 m² d'animations scientifiques au contact des météorologues. **H. J.**
Rens. : 04.67.42.59.83.

VALLERAUGUES

Le musée de Sismologie

BAS-RHIN Strasbourg est un des berceaux de la sismologie au XIXe siècle. Une des premières stations y est érigée dans les jardins de l'université. D'allure discrète, le bâtiment, devenu un musée en 1996, abrite les meilleurs instruments de l'époque. On peut aujourd'hui les observer et rendre hommage aux géophysiciens qui y ont travaillé. **M. G.**
http://musee-sismologie.unistra.fr

STRASBOURG

Le parc du Râdome

CÔTES-D'ARMOR Ici a eu lieu, le 11 juillet 1962, la première transmission télévisée par satellite au monde, entre les États-Unis et la France. Ce jour-là, Yves Montand avait poussé sa *Chansonnette* par-dessus l'Atlantique. Aujourd'hui, l'antenne du radôme est l'attraction de la Cité des télécoms. **S. R.**
Rens. : 02.96.46.63.80.

B. JAUBERT / ONLYFRANCE.FR

PLEUMEUR-BODOU

L'ancien site de lancement de missiles nucléaires du plateau d'Albion, à Rustrel, est désormais utilisé pour des expériences scientifiques.

ARNOLD JEROCKI / DIVERGENCE

Le laboratoire souterrain à bas bruit

VAUCLUSE C'est un site scientifique unique au monde, un terrain de jeu exceptionnel pour la centaine de chercheurs qui l'utilisent chaque année. Fondé en 1997, le Laboratoire souterrain à bas bruit (LSBB) réutilise une ancienne installation militaire creusée sous le plateau d'Albion. Elle abritait, entre 1971 et 1996, la composante terrestre de la force de frappe nucléaire française, avec 18 silos à missiles et une capsule de tir. Dotée de kilomètres de galeries percées jusqu'à 518 mètres de profondeur, la structure devait pouvoir résister à une attaque nucléaire. Recouverte de 3 mètres béton, entièrement tapissée d'un acier spécial, cette installation offrait également un environnement à très bas bruit sismique, anthropique et électromagnétique. Le poste de tir constituait une « cage de Faraday » parfaite : le niveau de bruit électromagnétique y était 100 fois moindre que celui d'un cerveau humain dans sa phase de sommeil profond ! Dans cette capsule de 28 mètres de long, dépourvue de signaux parasites, les scientifiques effectuent aujourd'hui une kyrielle de mesures. Elles concernent le champ magnétique terrestre, la fiabilité des circuits microélectroniques ou la propagation des tremblements de terre. D'autres galeries ont été creusées en 2020 pour installer des interféromètres d'un type nouveau. Ils permettront, à terme, de détecter des ondes gravitationnelles (issues de la fusion de trous noirs notamment) avec une sensibilité inédite. **Franck Daninos**

Rens. : 04.90.04.99.00

RUSTREL

G. SOUVANT / AFP

NANÇAY

La station de radioastronomie

CHER En pleine forêt, la station de Nançay offre le spectacle grandiose de ses radiotélescopes scrutant le cosmos, plus particulièrement le Soleil, les exoplanètes, les galaxies… Elle participe aussi à la traque des ondes gravitationnelles. Construite à partir de 1953, elle grandit encore de nos jours avec de nouveaux instruments comme le réseau NenuFar, 1824 antennes actuellement, inauguré en 2019. Mais le clou du spectacle reste le radiotélescope géant de 1965, d'une surface de 8000 m². Le site, intégré au Pôle des étoiles de Nançay, se visite avec un guide. Il compte un planétarium et une salle d'exposition permanente expliquant comment les ondes radio peuvent observer les étoiles. **F. N.**

Rens. et réservations : 02.48.51.18.16. ; www.poledesetoiles.fr

La pile Zoé

HAUTS-DE-SEINE C'est le berceau du nucléaire civil à la française. La pile atomique Zoé, en fonctionnement de 1948 à 1976, se visite sur le site du CEA, à Fontenay-aux-Roses. Ce réacteur expérimental, le premier du genre, a servi à mettre au point les centrales nucléaires construites durant les années 1970, et à former toute une génération d'ingénieurs. **F. N.**

Rens. : 01.46.54.96.00.

FONTENAY-AUX-ROSES

JEAN-PHILIPPE UZAN

Jeu de piste le long du méridien de Paris

Le physicien propose un parcours de découverte astronomique, du sud au nord de la capitale à la recherche des « médaillons Arago ».

DAVID HENRY

135 « médaillons Arago » en bronze matérialisent le méridien qui traverse Paris

Jean-Philippe Uzan
est physicien théoricien, spécialiste de cosmologie au CNRS/Institut d'astrophysique de Paris.

PHILIPPE MATSAS/LEEXTRA/LEEMAGE

« Paris, ville « lumière », est peu propice à l'observation du ciel nocturne. Il est pourtant possible d'y faire de l'astronomie. Je recommande une promenade avec comme fil rouge les méridiens. Ces cercles passent par les pôles Nord et Sud. Le méridien de Paris est matérialisé depuis 1994 par 135 « médaillons Arago » en bronze, que l'on doit à l'artiste néerlandais Jan Dibbets. Les dénicher s'apparente à une petite chasse au trésor que l'on peut pratiquer en famille. Cette quête vous mène de la cité universitaire (14e) à la porte de Montmartre (18e), en traversant le parc Montsouris, l'observatoire de Paris, le jardin du Luxembourg...

Près du Sénat, faites un petit détour vers l'est. Au 36, rue de Vaugirard, sous les arches, un mètre étalon est fixé au mur. Installé sur décision de la Convention nationale en 1796, on s'en servait pour étalonner les instruments de mesure. Sa longueur a été définie en 1791 comme une fraction du méridien terrestre. Celui de Paris entre Dunkerque et Barcelone sera mesuré entre 1791 et 1798.

En région, j'aime tout particulièrement le château-observatoire Abbadia, à Hendaye (Pyrénées-Atlantiques). Il a été bâti entre 1864 et 1884 par Viollet-le-Duc pour Antoine d'Abbadie. Cet ethnologue et géographe s'est intéressé à la microsismicité, aux sources du Nil, à la cartographie céleste. Son château, propriété de l'Académie des sciences, abrite un observatoire d'astronomie qui a fonctionné jusqu'en 1979. Il se visite. J'apprécie particulièrement la bibliothèque, riche de 10 000 ouvrages. Cela donne un bon aperçu de la curiosité sans limite du propriétaire des lieux." ■

Propos recueillis par Fabrice Nicot

L'ÉGLISE SAINT-SULPICE

PARIS « Elle possède une méridienne (instrument de mesure astronomique) représentée par une règle de laiton dans une bande de marbre blanc sur le sol de l'église. La lumière du Soleil passe à travers une ouverture circulaire disposée dans le vitrail sud du transept, et forme sur le sol une tache elliptique. Elle croise la ligne méridienne chaque fois que le Soleil culmine au midi local. »

L'ÎLE D'OLÉRON

CHARENTE-MARITIME
« J'apprécie pour de nombreuses raisons cette île. Mais je la recommande pour des promenades nocturnes. On peut admirer le ciel, mais aussi une faune très riche, avec des loutres, une vingtaine d'espèces de chauves-souris, des reptiles... Et puis c'est le seul endroit en France où j'ai eu le bonheur de voir des lucioles. »

L'OBSERVATOIRE DU PIC DU MIDI

HAUTES-PYRÉNÉES
« Séjournez à l'observatoire astronomique du pic du Midi de Bigorre ! Pour observer le ciel bien sûr, avec un ponton qui permet de plonger littéralement dans les étoiles... Mais aussi pour se réveiller au lever du soleil sur les Pyrénées. »
Rens. : picdumidi.com

A. SPANI/HEMIS.FR

CYRIL FRESILLON/CNRS PHOTOTHÈQUE

La matière est étudiée au plus près de ses atomes (ici, des fossiles de petits animaux) grâce au synchrotron Soleil.

SACLAY

Le synchrotron Soleil

ESSONNE. Se rendre au synchrotron Soleil, sur le plateau de Saclay, c'est déjà faire l'expérience d'un territoire contrasté, entre pôle scientifique et technologique d'un côté (l'École polytechnique, l'université Paris-Saclay, le Commissariat à l'énergie atomique), terres agricoles de l'autre. Une balade au milieu des champs puis un passage par le bourg de Saclay constituent un bon préambule avant de pénétrer dans Soleil, au cœur de la physique fondamentale et appliquée. La forme circulaire du bâtiment indique que nous entrons dans un carrousel particulier : des faisceaux d'électrons y tournent à des vitesses proches de celle de la lumière. Dans l'anneau de stockage de 354 mètres de circonférence, ils subissent régulièrement des petites modifications de trajectoire sous l'effet de champs magnétiques. À chacune de ces inflexions, les électrons cèdent de l'énergie sous la forme de photons : c'est le rayonnement synchrotron. Il est utilisé dans 29 cabines d'expériences disposées autour de l'anneau afin d'éclairer la matière dans une large gamme de longueurs d'onde et de révéler sa composition. La visite permet de surplomber l'anneau et de découvrir certaines de ces cabines. Un guide expose toutes les applications de cette sorte de « lampe magique » destinée à scruter la matière au plus près de ses atomes. La liste est longue, depuis la conception de matériaux pour l'électronique de pointe, la simulation du fonctionnement des étoiles, jusqu'à la manière dont la graisse pénètre dans les frites ! **Fabrice Nicot**

Rens. : www.synchrotron-soleil.fr/fr

Le marégraphe

BOUCHES-DU-RHÔNE Accroché sur la promenade de la Corniche, le marégraphe de Marseille, classé au titre des Monuments historiques en 2002, est l'appareil qui a servi à établir le niveau zéro pour toutes les altitudes calculées en France et en Suisse. La station conserve l'instrument historique, le marégraphe mécanique à flotteur de 1885 (il a été rénové en 2018) qui mesure toujours les oscillations de la mer. Elle est également équipée d'appareils de mesure modernes, un marégraphe côtier numérique à radar et un récepteur GNSS (Global Navigation Satellite Systems) permanent qui en font une véritable vigie de la Méditerranée. 130 années de mesures ont permis de déterminer que son niveau moyen s'est élevé de 16 cm. **J. I.**

Rens. : https://amis-maregraphe-marseille.fr

S. AGEORGES/SAIF IMAGES

MARSEILLE

MODANE

Le laboratoire souterrain de Modane

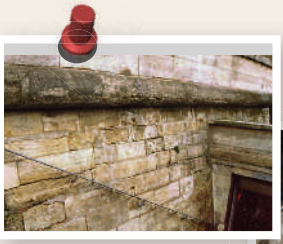
SAVOIE À 1700 m sous le tunnel routier du Fréjus est enfoui le laboratoire souterrain le plus profond d'Europe. Ainsi protégés des rayons cosmiques, physiciens et astrophysiciens de tous pays cherchent à percer les mystères de l'Univers. Un « Carré Sciences » présente les activités du laboratoire. **S. R.**

Rens. : 04.79.05.22.57.

PARIS

À la recherche des enceintes successives

Battre simplement le pavé parisien est le gage d'un voyage dans le temps. Dans les rues, sur les façades, les squares et les ponts, les restes des enceintes bâties par Philippe Auguste, Charles V et Louis XIII s'offrent à qui sait regarder.



PLACE DE LA CONCORDE

Le mur du Jardin des Tuileries est posé sur les restes du bastion n° 1 de l'enceinte des fossés jaunes.

9, RUE DU LOUVRE

L'empreinte de l'intérieur d'une tour de l'enceinte Philippe Auguste de la fin XII[e] siècle frappe le regard.

PALAIS DU LOUVRE

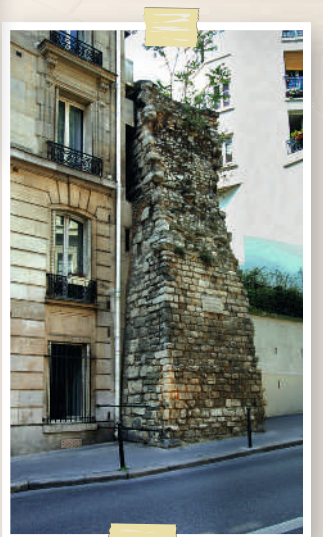
Le Louvre est à l'origine une forteresse bâtie à la fin XII[e] siècle sous Philippe Auguste. Des éléments sont visibles dans l'espace Louvre médiéval du musée et des restes de l'enceinte de Charles V du XIV[e] siècle se trouvent dans le centre commercial du Carrousel du Louvre.

RUE DES JARDINS-SAINT-PAUL

Cette section de 80 m de long, incluant les restes de deux tours, est le vestige le plus important de la muraille de 1190.

22, RUE ÉTIENNE-MARCEL

La Tour Jean sans Peur est le vestige d'une résidence des ducs de Bourgogne accolée à l'enceinte de Philippe Auguste. Elle porte le nom du duc qui l'a fait ériger entre 1409 et 1411.



1, RUE CLOVIS

Débordant sur le trottoir, la muraille Philippe Auguste a été sectionnée au XIX[e] siècle pour percer la rue.

MÉTRO BASTILLE

Un bout de la contrescarpe de la forteresse de la Bastille se trouve sur le quai de la ligne 5 du métro.

DATES DE CONSTRUCTION

- **Enceinte de Philippe-Auguste :** 1190-1215.
- **Enceinte de Charles V :** 1356-1383.
- **Enceinte bastionnée** de Charles IX et Louis XIII dite des fossés jaunes : 1566 et 1632-1647.

Bastille : 1370-1383.

MAIS AUSSI...

Pont de la Concorde
Construit entre 1787 et 1791, en partie pendant la Révolution française, il utilise des pierres de taille de la Bastille, démolie à partir du 15 juillet 1789.

Jardin Père-Teilhard-de-Chardin
Un escalier mène sous cette place pour révéler une section de l'enceinte Charles V.

Rue Jacques-Henri-Lartigue
Derrière la caserne de pompiers, un pan de la muraille Philippe Auguste est intégré dans les constructions modernes.

27, rue Mazarine
Aux 1er et 2e sous-sols de ce parking, des restes des fortifications du XIIe siècle, découverts en 1996, ont été conservés.

Grands Boulevards
Ils traversent les anciens bastions 6 et 7 des « fossés jaunes », d'où leur tracé accidenté et parfois en tranchée.

Rue de Cléry
Reprend le chemin de ronde extérieur de l'enceinte Charles V.

Passage du Pont-aux-Biches
Un escalier relie la rue Meslay et la rue de Nazareth, correspondant à l'accès au rempart sur un dénivelé de 7 m.

Rue Amelot
C'est un ancien fossé. L'escalier au niveau du n° 61 témoigne de l'accès au bastion n° 10 de l'enceinte de Louis XIII (l'actuelle rue Scarron).

Square Henri-Galli
La base d'une tour de la Bastille a été découverte en 1899 lors de la construction du métro et reconstituée ici.

Bassin de l'Arsenal
Cet ancien port de marchandises devenu port de plaisance en 1983 occupe un ancien fossé d'alimentation en eau des douves de la Bastille. Le mur côté boulevard Bourdon vient d'un bastion.

S. GAUTIER/SAGAPHOTO - MYOP - JP DUMONTIER / LA COLLECTION - PARIS LADOUCE.COM - M. COHEN / AURIMAGES - J. LOIC/PHOTONONSTOP - P. CELLY

INDEX GÉOGRAPHIQUE

Région par région, retrouvez nos trésors

AUVERGNE-RHONE-ALPES
Gorges du Fier 26
Parc naturel régional des Baronnies provençales 26
Cratère de Lemptégy 30
Maison du saumon et de la rivière 32
Aven d'Orgnac 33
Pierre aux Pieds 42
Muséum de l'Ardèche 43
Télégraphe de Chappe du Mollard Fleury 44
Musée des papeteries Canson et Montgolfier 49
Laboratoire souterrain de Modane 53

BRETAGNE
Conservatoire botanique national de Brest 30
Menhir de Saint-Uzec 39
Cairn du Petit-Mont 39
Tumulus de Kercado 40
Cairn de l'île de Carn 40
Cairn de Barnenez 40
Brest : musée de la Marine 45
Parc du Râdome 50

BOURGOGNE-FRANCHE-COMTÉ
Grotte d'Azé 33
Grotte de la Glacière 33
Musée de Préhistoire de Solutré 42
Le Creusot : château de la Verrerie 45
Salines royales 46
Besançon : musée du Temps 46
Piste des diplodocus 47
Empreintes de Coisia 47

CENTRE-VAL-DE-LOIRE
Grottes pétrifiantes de Savonnières-Villandry 33
Menhir de la Pierre Percée 39
Station de radioastronomie de Nançay 51

CORSE
Alignements de Stantari 39

GRAND-EST
Météorite d'Ensisheim 32
Musée naturel Jean-Marie Pelt 31
Dolmen du Bois de la Grande Bay 39
Camp Marguerre 45
Strasbourg : musée de Sismologie 50

HAUTS-DE-FRANCE
Parc ornithologique du Marquenterre 30
Boulogne-sur-Mer : céramiques grecques 35
Coupole d'Helfaut 37
Tumulus des Bonnettes 39
Naours : la cité souterraine et ses graffitis 38
La « mer » des Ardennes 40
Centre historique minier 46

ÎLE-DE-FRANCE
Carrière du Bois des Roches 29
Musée de la Préfecture de police de Paris 38
Sentier de l'art rupestre 43
Voie d'essai de l'aérotrain 44
Musée Curie 50
Pile Zoé 51
Paris : parcours « Arago » 52
Paris : méridienne de l'église Saint-Sulpice 52
Synchrotron Soleil 53
Les enceintes de Paris 54

NORMANDIE
Rouen : le Panorama XXL 34
Ivoires du musée de Dieppe 49

NOUVELLE-AQUITAINE
Bidart : limite crétacé-tertiaire 29
Banc d'Arguin 31
Vignes de Sarragachies 31
Grotte du Grand Roc 33
Auch : musée des Amériques 34
Église monolithe Saint-Jean 35
Bunker allemand restauré 38
Grotte de Rouffignac 41
PréhistoSite de Brassempouy 41
Grotte du Pech Merle 42
Plage aux ptérosaures 47
Les vagues de Biarritz 48
La plage d'Erretegia 48
Villa Arnaga-musée d'Edmond Rostand 48

OCCITANIE
Abîme de Bramabiau 27
Loups du Gévaudan 32
Aven Armand 33
Grotte de la Cocalière 33
Le causse Comtal 36
Forêt de Clairvaux 36
Forêt de Buzet 36
Toulouse : musée Georges-Labit 37
Alès : mine témoin 44
Musée des Dinosaures d'Espéraza 47
Musée Parc des dinosaures de Mèze 47
Empreintes à trois doigts du Castellas 47
Station météo du mont Aigoual 50
Observatoire du pic du Midi de Bigorre 52

PAYS-DE-LA-LOIRE
Parc Oriental 26
Caves aux Sculptures 34
Angers : tapisserie de L'Apocalypse 35
Nantes : Mémorial de l'abolition de l'esclavage 37
Cité toscane de Clisson 44

PROVENCE-ALPES-CÔTE D'AZUR
Jardin alpin du Lautaret 26
Ocres du Lubéron 27
Saint-Maximin-la-Sainte-Baume 28
Massif de l'Esterel 28
Dolmen de l'Ubac 39
Mont Bego 42
Nice : Terra Amata 43
Mémorial de la Marseillaise 49
Laboratoire souterrain à bas bruit 51
Marseille : marégraphe 53

GUYANE
Zoo de Guyane 27
Bagne de Guyane 34

GUADELOUPE
Parc archéologique des roches gravées 41

LA RÉUNION
Observatoire des tortues marines Kélonia 29

MARTINIQUE
Mémorial de la catastrophe de 1902 30

Les bonnes feuilles de la découverte

Par Mathieu Nowak et Arnaud Devillard

L'histoire des paysages

« *Un patchwork géologique* » : voilà à quoi ressemble le sous-sol de la France. Une complexité qui est en réalité une chance, puisque chaque région permet d'en saisir un aspect particulier. En association avec le BRGM, le service géologique national, le géologue François Michel propose une introduction à chacune d'entre elles, richement nourrie de photos et de cartes.
Le Tour de France d'un géologue, Delachaux et Niestlé – BRGM éditions, 384 p., 42 €

L'héritage industriel a son guide

Fidèle à la réputation des guides Michelin, celui-ci propose une recension très complète, par région, des traces des activités industrielles qui s'y sont déroulées ou qui s'y déroulent encore. Plus de 200 sites sont ainsi proposés avec un bref historique et les informations pratiques pour s'y rendre.
Les Plus Beaux Lieux du patrimoine industriel, Michelin Voyage, 368 p., 17 €

Parcourir la France pour comprendre le monde

Notre confrère Jamy Gourmaud excelle dans l'art de raconter une histoire en partant d'une question : « Pourquoi le Soleil rougit-il quand il se lève ? », « Pourquoi nos volcans peuvent se réveiller ? », « Comment Parmentier nous fit manger des pommes de terre ? ». Mais cette fois, il réussit le tour de force de marier les réponses nourrissant la soif de culture scientifique du lecteur avec l'exploration d'un lieu ou d'une région. Un tour de force qui devient tour de France. Car le récit — c'en est un — est écrit à la première personne. Si bien que l'on se laisse emporter dans son voyage. Si ce livre n'est pas un guide — n'y cherchez pas photos, cartes ou informations pratiques —, c'est en revanche une invitation au voyage géographique et intellectuel avec la curiosité pour seul fil conducteur.
Mon Tour de France des curiosités naturelles et scientifiques, Jamy Gourmaud, Stock, 288 p., 18,50 €

Panorama élargi

Sites naturels, châteaux, musées, etc. La sélection de Franck Ferrand, chroniqueur au magazine *Historia*, promet une grande diversité de lieux sur tout le territoire français. Mais si le panorama est large, les talents de narrateur de l'écrivain passionné d'histoire sont hélas ! bridés par des textes que l'on aurait aimé beaucoup plus longs.
100 Lieux pour découvrir la France, Franck Ferrand, Flammarion, 16,90 €

Sites scientifiques et techniques à l'honneur

Cela ne fait qu'une cinquantaine d'années que des politiques de conservation de sites scientifiques et techniques ont vu le jour. Et aujourd'hui, force est de constater que *« l'émotion, y compris esthétique, n'est pas exclue de ces lieux de culture »*, expliquent les auteurs. Qui ont fait un travail de recension régionale sans précédent, permettant d'attirer l'attention sur près d'un millier de sites conservant la mémoire des sciences, des machines et des techniques.
Guide de la France savante, Pierre Biard et Françoise Chesneau, Belin, 672 p., 32,45 €

À NOS LECTEURS

À vous de participer !

Des trésors scientifiques surprenants ou méconnus se cachent sûrement dans votre région. Pour compléter la sélection de la rédaction, nous vous invitons à les partager avec toute la communauté des lecteurs de *Sciences et Avenir*. Vous pouvez nous écrire : par mail à courrier-lecteurs@sciencesetavenir.fr ; en message direct sur Twitter @Sciences_Avenir ; avec un message sur Facebook https://www.facebook.com/sciencesetavenir/ Nous en ferons une sélection que nous publierons sur notre site Web **www.sciencesetavenir.fr** Nos critères : un lieu naturel, historique, patrimonial... qui présente un intérêt scientifique, qui ne fasse pas partie des circuits touristiques les plus fréquentés, mais qui soit accessible au public. N'hésitez pas à nous raconter l'histoire du lieu et la meilleure manière de s'y rendre selon vous ! **La rédaction**

La mémoire des lieux

Un lieu, un événement. Le journaliste François-Guillaume Lorrain poursuit dans un deuxième livre son exploration de lieux français porteurs d'une histoire lourde, parfois assumée, parfois oubliée, volontairement ou non. *« Notre obsession n'a jamais varié. Restituer non seulement l'événement qui traumatisa le lieu, mais sa résonance jusqu'à nos jours, ses vibrations, ses réécritures, ses silences, ses angles morts.* » Il ne s'agit pas ici de raconter l'histoire de France, mais en partant à la rencontre de ceux qui en ont le souvenir, de narrer le récit de lieux qui ont d'une manière ou une autre contribué à nourrir cette histoire, sans en devenir le symbole.

Ces autres lieux qui ont fait la France, François-Guillaume Lorrain, Fayard, 336 p., 20 €

Aux limites fortifiées de la capitale

De l'Antiquité gallo-romaine au XIXe siècle, Paris a connu sept enceintes fortifiées *(voir p. 55)*. La plus connue est les « fortifs » de 1840, dont les boulevards des Maréchaux rappellent aujourd'hui le tracé. Ce livre aussi exhaustif que passionnant localise tous les résidus actuels de ces murailles. L'occasion d'une belle balade historique.

Sur Les Traces des enceintes de Paris, Renaud Gagneux et Denis Prouvost, Parigramme, 288 p., 29 €.

Hors des sentiers battus

Ce livre attendu pour cet automne et écrit par le youtubeur à l'origine de la chaîne Axolot s'inscrit dans une série dédiée aux curiosités cachées ou méconnues. Il met en lumière une centaine de sites, partout dans le pays, grandes photos à l'appui. On part dans le Var trouver un habitat troglodytique ou à La Réunion plonger dans le gouffre de 300 m du Trou de fer, et l'on retrouve au passage la coupole d'Helfaut *(voir p. 37)*.
À paraître le 13 octobre.

France secrète : merveilles insolites, Patrick Braud, Dunod, 216 p., 29 €

Deux cartes indispensables

Jamais le GPS ne remplacera la traditionnelle carte dépliable pour préparer un voyage. En voici deux indispensables à l'échelle 1/1000 000 pour parcourir la France cet été. D'abord la carte touristique IGN consacrée aux *« curiosités géologiques de France »*, recensant sites géologiques, patrimoine naturel et musées (10,90 €) ; en ensuite celle de Michelin qui regroupe *« les plus beaux lieux du patrimoine industriel »* (17 €).

L'exploration interdite

La quête des lieux abandonnés connaît un succès croissant en France comme dans le monde. C'est que ce mode d'exploration permet de parcourir le territoire, en recherche d'histoire et de patrimoine, pour parfois trouver des trésors. Le photographe et dessinateur Timothy Hannem propose ici une sélection de 50 lieux qu'il documente avec des clichés accompagnant un bref récit. Comme de rigueur chez les pratiquants de ces explorations sauvages, les lieux ne sont pas localisés précisément et laissés parfaitement intacts. Afin que « secrets » ils restent. Une invitation à des voyages interdits parce qu'ils ne sont pas officiellement « accessibles » comme tous les lieux que nous présentons dans ce dossier. Mais qui cadrent d'autant plus avec la recherche du méconnu, de l'oublié.

Urbex. Timothy Hannen, Arthaud, 160 p. 21 €

Deux particules bousculent la physique

Futur Big Bang en vue dans la physique de la matière ? Des expériences menées sur le muon et le méson B révéleraient des anomalies incompatibles avec le modèle standard qui régit le comportement des particules élémentaires.

Par Fabrice Nicot @fnicot07

Le muon
C'est une particule élémentaire 200 fois plus massive que l'électron. La mesure de son moment magnétique *(voir lexique)* ne correspondrait pas aux prévisions théoriques.

JOLI PRINTEMPS pour la physique des particules. Coup sur coup, deux résultats ont mis en émoi la communauté des chercheurs. Deux anomalies qui, si elles étaient confirmées, bouleverseraient toute la physique de la matière. À la clé ? de nouvelles particules, voire de nouvelles forces... Le premier résultat est venu de l'expérience LHCb qui se déroule au sein du collisionneur installé sous la frontière franco-suisse, à Genève, le Large Hadron Collider (LHC). Son objectif : étudier les désintégrations rares des mésons, des particules constituées d'un quark et d'un antiquark. Une première étude, soumise à la revue *Nature Physics* le 22 mars, concerne un membre de la famille méson, le « B ». « *Le méson B se désintègre en un cocktail de particules contenant soit une paire électron-positon, soit une paire muon-antimuon*, explique Yasmine Amhis, physicienne à l'université Paris-Saclay et membre de l'expérience LHCb. *Avec une probabilité de 50-50, nous dit la théorie. Or, de premiers résultats indiquent que la voie électron-positon serait privilégiée.* »

La probabilité d'erreur n'est que d'une sur 40 000

L'autre anomalie, éventuellement sans rapport avec la précédente, affecte le muon, ce cousin de l'électron, 200 fois plus massif que lui. L'expérience Muon g-2, qui se déroule au Fermilab, près de Chicago (États-Unis), a mesuré son moment magnétique. Et là encore, selon un article paru le 7 avril dans *Physical Review Letters*, il ne correspondrait pas à ce que la théorie avait annoncé. Cela confirme des mesures remontant à 2004, et qui avaient déjà jeté le trouble dans la communauté des physiciens.
« *Ces deux résultats sont très importants, mais ils doivent encore être confirmés*, tempère Yasmine Amhis. *Concernant les mésons B, il y a une chance sur mille que ce résultat soit dû à une fluctuation statistique. Pour être affirmatif, cette probabilité devra atteindre une chance sur 1,7 million. Il faut donc continuer à dépouiller les mesures.* »
Concernant le moment magnétique du muon, la probabilité d'une erreur n'est plus que d'une sur 40 000.
S'il est trop tôt pour crier victoire, cela n'empêche donc pas d'espérer. Mais espérer quoi au juste ? « *Les propriétés des muons, comme des*

MEHDI BENYEZZAR POUR SCIENCES ET AVENIR LA RECHERCHE

MOMENT MAGNÉTIQUE Grandeur physique issue du mouvement de rotation sur elles-mêmes de particules chargées électriquement. Il traduit leur sensibilité à un champ magnétique extérieur.

QUARK Au nombre de six, ces particules élémentaires s'associent pour former des hadrons (neutrons et protons). Son antiparticule est nommée antiquark.

POSITON Particule d'antimatière, double inversé de l'électron : de même masse, il possède en revanche une charge électrique opposée.

Le méson B

Composé d'un quark et d'un antiquark, il se désintègre de deux façons équiprobables, selon le modèle standard de la physique des particules. Pourtant, l'une des voies de désintégration semble dominer l'autre.

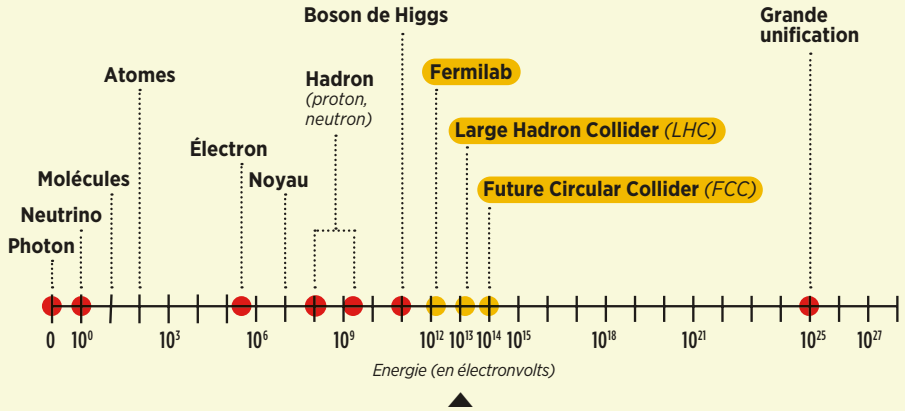
mésons, et de tout ce qui compose la matière sont prédites par le modèle standard de la physique des particules, rappelle Yasmine Amhis. *Notre objectif, c'est de le titiller afin de le prendre en défaut. De découvrir ses limites. Ces deux anomalies pourraient signifier que nous n'en sommes pas loin.* »

Le modèle standard, élaboré à l'orée des années 1970, regroupe les 17 particules dites élémentaires, car *a priori* insécables. Elles constituent les briques d'un jeu de construction permettant de créer tous les atomes existant dans l'Univers. Certaines de ces briques sont des particules de matière, et d'autres de rayonnement, nommées bosons. Cela signifie qu'elles portent les forces qui lient les particules entre elles. Par exemple, l'interaction forte assure la cohésion du noyau des atomes. Elle est portée par les bien nommés gluons. L'interaction électromagnétique, à l'origine des forces électrique et magnétique, est véhiculée par les photons. Il existe trois interactions fondamentales en tout, plus l'interaction gravitationnelle qui échappe toujours à une description par la physique des particules.

Avant de s'intéresser à ses limites, il faut d'abord reconnaître l'extraordinaire robustesse du modèle standard. Non seulement il offre une description précise du comportement des particules élémentaires, mais il a permis de prédire l'existence de nouvelles, avant même que l'on ne soit capable de les produire. La plus célèbre est le boson de Higgs, imaginé en 1964 par les théoriciens Robert Brout, François Englert et Peter Higgs, et finalement observé au LHC en 2012. Alors, pourquoi tenter d'égratigner un si bel édifice ? « *Le modèle standard décrit très bien la matière classique et ses interactions*, confirme Olcyr Sumensari, physicien théoricien au sein du Laboratoire de physique des 2 infinis Irène Joliot-Curie (IJCLab), à Orsay (Essonne). *Mais nous*

INSTRUMENTS

Vers les accélérateurs du futur



Observer des particules parfois très fugitives nécessite de disposer d'assez d'énergie pour les créer lors de collisions entre particules stables. D'où la course au gigantisme des collisionneurs (en orange). Leurs performances sont encore loin d'atteindre les niveaux d'énergies en jeu lors du Big Bang, il y a 13,8 milliards d'années, où selon certaines hypothèses, toutes les forces de la physique étaient fondues en une seule.

BRUNO BOURGEOIS

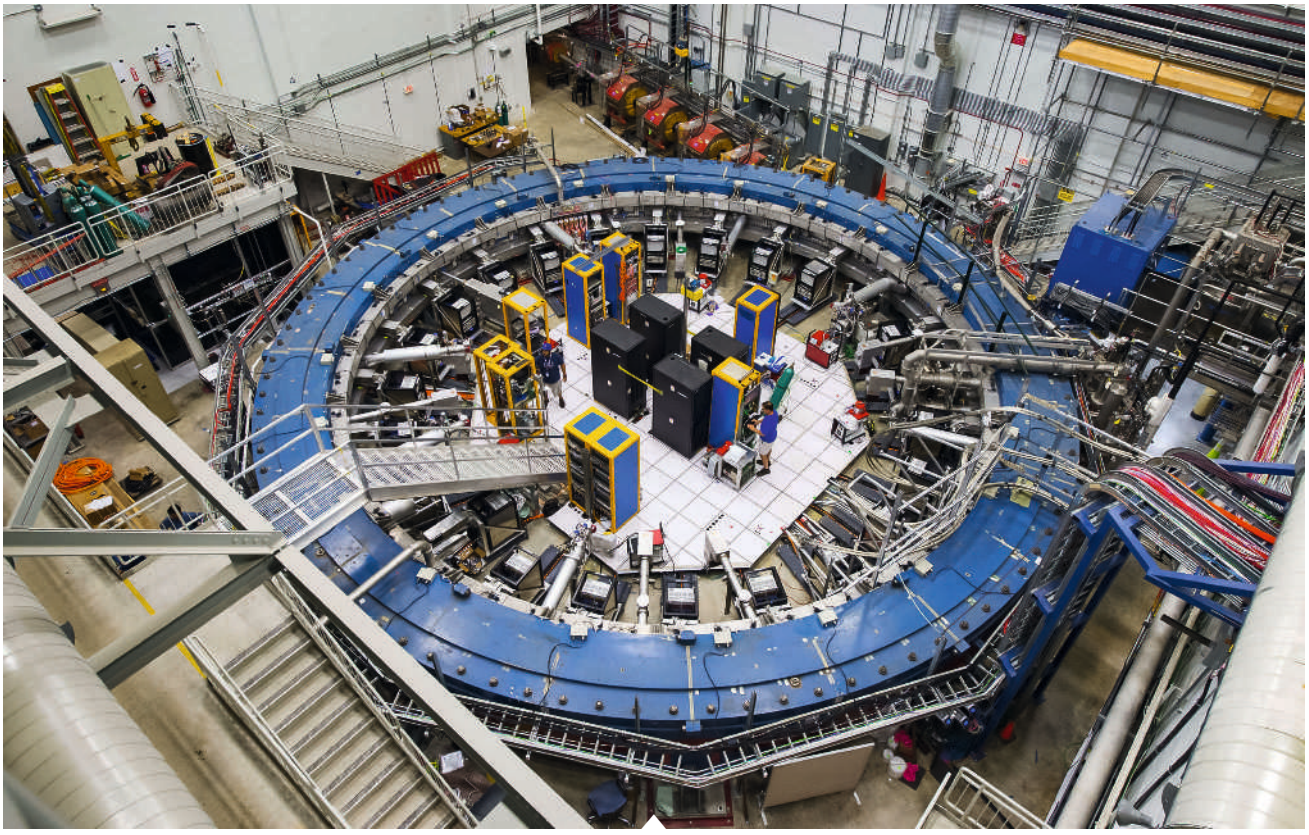
Pour découvrir de nouvelles particules, il faut générer des collisions de plus en plus puissantes, afin d'atteindre des domaines d'énergie encore largement inexplorés *(voir ci-dessus)*. Pour imaginer ces collisionneurs du futur, les scientifiques européens du domaine ont lancé, le 1er mai, le projet I.FAST. Doté d'un budget de 18,7 millions d'euros financé par l'Union européenne, il réunira 48 organismes de 14 pays et sera coordonné par le Cern, à Genève. *« Cette collaboration entre physiciens des accélérateurs existe de longue date,* explique Jean-Luc Biarrotte, qui représente le CNRS au sein d'I.FAST. *En revanche, le fait qu'elle accueille à présent les industriels du domaine est nouveau et prometteur. »* Parmi les technologies qui vont devoir évoluer, les aimants supraconducteurs figurent en bonne place. Ainsi, le Futur collisionneur circulaire (FCC), un anneau de 100 km qui pourrait succéder un jour au LHC, sur le même site, aura besoin d'aimants de 16 teslas, soit deux fois plus que ceux du LHC. *« Pour l'instant, nous ne savons pas faire,* constate Jean-Luc Biarrotte. *Développer de tels aimants demandera des matériaux supraconducteurs d'un type nouveau. »* Autre chantier : les collisionneurs de muons. Ces particules étant 200 fois plus massives que les électrons, elles pourraient être utilisées pour le développement de collisionneurs de très haute énergie relativement compacts. *« Mais dans ce domaine, tout reste à inventer ou presque : l'usine à muons, la formation d'un faisceau utilisable, puis son accélération qui doit être hyperrapide car ce sont des particules de très courte durée de vie… Ce type de collisionneurs ne verra sans doute pas le jour avant 2050. »*

savons grâce au modèle standard de la cosmologie qu'elle ne représente que 5 % de tout ce qui compose l'Univers. Or, il ne dit rien sur la matière noire (25 %), ni sur l'énergie noire (70 %) à l'origine de l'accélération de l'expansion de l'Univers. De même, il prévoit que les neutrinos, les particules les plus abondantes dans l'Univers, émises lors de processus radioactifs, sont dépourvus de masse. Or nous avons découvert en 1998 qu'ils en avaient une, bien que beaucoup plus petite que celles des autres particules connues. Le modèle standard semble donc solide, mais on peut le voir comme le socle d'une théorie plus fondamentale que nous ne maîtrisons pas encore. Le grand enjeu aujourd'hui est d'essayer de trouver des indices expérimentaux qui nous aideraient à formuler cette théorie. » Mais remettre en question le modèle standard est lourd de conséquences. Comme le souligne Yasmine Amhis : *« Nous pouvons trouver d'autres particules de matière, mais aussi d'autres particules de rayonnement. Ce qui signifierait mettre au jour… une nouvelle force ! »*

À la recherche des particules inconnues

De ce point de vue, l'anomalie du moment magnétique du muon pourrait être particulièrement éclairante. Si la valeur mesurée ne correspond pas à celle prévue, cela signifie que le muon est chahuté par d'autres particules qui peuplent le « vide ». Car dans l'infiniment petit, le vide ne l'est jamais. Comme la surface de l'océan est parcourue de vagues formant parfois des gouttes, le vide est agité sans cesse par des particules qui jaillissent d'une « mer » d'énergie emplissant tout l'espace, puis se désintègrent. Quelles sont les particules qui perturbent ainsi le muon ? *« Pour calculer son moment magnétique, toutes les interactions avec des particules connues ont été envisagées. Si cet écart entre la théorie et la mesure est confirmé, alors les perturbations viennent nécessairement de particules inconnues »*, déduit Olcyr Sumensari. La mesure ne semble pas remise en cause. Et s'il fallait plutôt revoir la prédiction, le calcul théorique étant très délicat à mener ?

Or, en même temps que le Fermilab publiait son résultat, une équipe internationale de théoriciens réunie au sein de la collaboration « Budapest-Marseille-Wuppertal » publiait justement une nouvelle valeur théorique du moment magnétique compatible avec les mesures ! Cette nouvelle approche fait en ce moment même l'objet d'intenses



REIDAR HAHN/UPI/SHUTTERSTOCK/SIPA

C'est l'expérience Muon g-2 du Fermilab, près de Chicago (États-unis), qui a détecté une anomalie dans le comportement magnétique du muon, remettant en question les calculs théoriques.

vérifications. Côté expérimentation, une mesure du moment magnétique avec une méthode différente du Fermilab, devrait avoir lieu au Proton Accelerator Research Complex, au Japon, d'ici à 2025.

Côté mésons B, la valeur théorique n'est, cette fois, pas mise en doute : ce sont les mesures qui demandent à être confirmées. Non seulement le dépouillement de celles prises au LHC se poursuit, mais une autre expérience sur les désintégrations des mésons B, Belle II, se déroule en ce moment même au Japon. Si elle confirme les résultats du LHCb, alors les théoriciens ont déjà quelques idées pour les expliquer... « *On peut imaginer une particule très massive, surnommée leptoquark, qui interagirait davantage avec les muons qu'avec les électrons*, explique Olcyr Sumensari. *Cela peut être aussi la manifestation d'une cinquième force, portée par un boson nommé Z', et qui agirait là encore davantage sur les muons que sur les électrons. Dans les deux cas, ce serait une révolution, car muons et électrons sont identiques pour les forces décrites par le modèle standard. Il n'y a pas de raison théorique pour expliquer une telle différence de comportement.* »

Non seulement le dépouillement se poursuit au LHC, mais d'autres publications sont attendues sur les désintégrations de différents types de mésons, une grande famille ! « *Avec LHCb, nous étudions aussi les mésons B+, B0, lambda b... Nous espérons publier au moins un résultat supplémentaire avant la fin de l'année. Et d'autres suivront l'an prochain* », confirme Yasmine Amhis. Avec l'espoir que les mésons, comme les muons, confirmeront leur comportement étrange, ouvrant les portes vers une nouvelle physique des particules. ■

YASMINE AMHIS

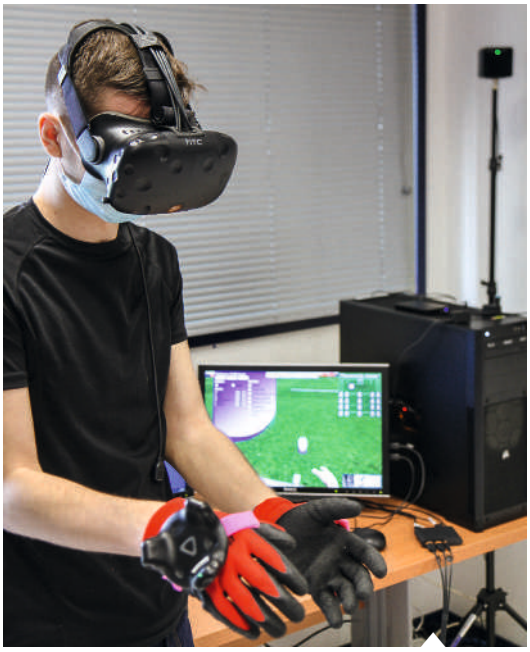
« Nous espérons publier au moins un résultat supplémentaire avant la fin de l'année. Et d'autres suivront l'an prochain »

Yasmine Amhis, physicienne à l'université Paris-Saclay et membre de l'expérience LHCb

Préparer les équipes olympiques à décrocher des médailles

Plusieurs programmes ont été lancés afin d'optimiser les performances des sportifs français aux JO de Paris en 2024. Exemple avec l'analyse de la dynamique de groupe dans les sports collectifs.

Au moment où nous écrivons ces lignes, les jeux Olympiques de Tokyo sont toujours programmés du 23 juillet au 8 août, après un report d'un an. Mais aux ministères français des Sports et de la Recherche, les yeux sont déjà tournés vers les jeux d'été suivants, qui se tiendront en 2024 à Paris : c'est là qu'il faudra briller. Objectif : rien de moins que doubler le nombre de médailles olympiques françaises par rapport aux jeux de Rio en 2016, soit environ 80 « breloques » ! Et pour aider les sportifs à se préparer, plusieurs programmes de recherche ont été lancés *(lire l'encadré p. 64)*. L'un d'eux, Team-Sports, porte spécifiquement sur les sports collectifs. *« Il entend analyser tout ce qui influence la dynamique de groupe dans les sports collectifs — notamment au football, rugby, handball, volley et basket — afin de l'optimiser et accroître les performances des équipes*, explique Mickaël Campo, chercheur à l'UFR Sciences du sport (Staps) de l'université de Bourgogne, à Dijon, qui supervise le programme. *Nos travaux seront finalisés en 2023 pour bénéficier à la préparation des futures équipes olympiques françaises. Face au risque de nouvelles vagues épidémiques, nous accélérons toutefois les expérimentations et collecterons cette année la majeure partie des données.* » Le projet, qui mobilise une trentaine de scientifiques français spécialisés en psychologie sociale, en neurosciences ou en modélisation numérique, bénéficie d'une enveloppe de 4 millions d'euros.



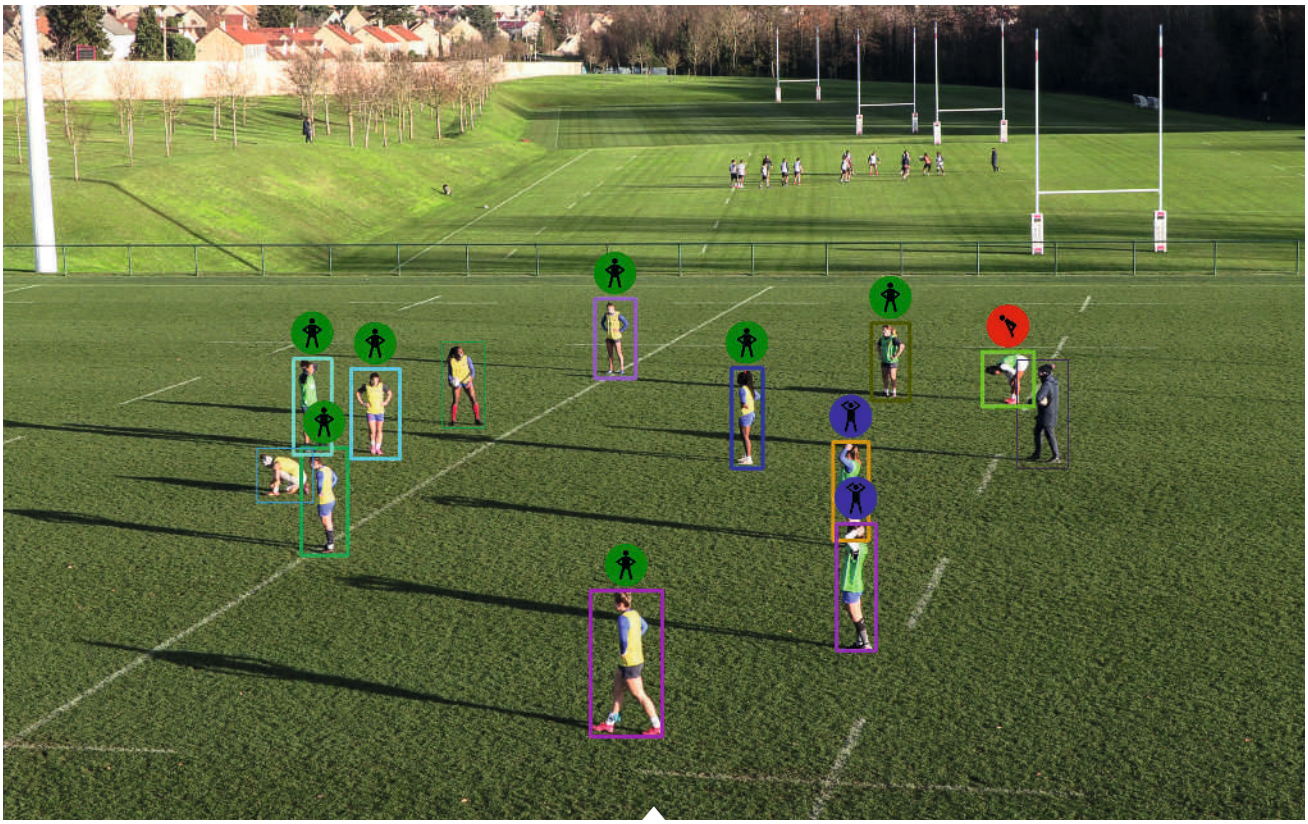
ARTS ET MÉTIERS/INSTITUT DE L'IMAGE

Une application de réalité virtuelle plongera le joueur dans des situations ou environnements particuliers afin d'acquérir de nouvelles expériences et d'apprendre à les maîtriser.

Très peu de recherches ont été menées sur la dynamique des équipes sportives, *« groupes composés d'athlètes aux aptitudes, fonctions et intérêts divers qui doivent néanmoins interagir et opérer des gestes techniques de concert pour atteindre des objectifs communs »*, pose Grégoire Bosselut, maître de conférences à l'université de Montpellier et au Centre européen de recherche sur le mouvement humain (EuroMov). Les psychologues du sport se sont ainsi focalisés sur le stress ou les aptitudes psychomotrices des athlètes mais pas sur le groupe lui-même — *« un objet d'étude beaucoup plus difficile à caractériser »*, souligne Mickaël Campo. Tel est le cas également des entraîneurs qui s'efforcent de recruter les meilleurs éléments (attaquants, défenseurs, ailiers...) sans se soucier principalement de la dynamique collective. Lors de la coupe du monde de football de 2002, l'équipe de France possédait ainsi les meilleurs buteurs des championnats français, anglais et espagnol... mais n'a marqué aucun but. *« On cherche trop souvent à assembler une équipe d'experts et non une équipe experte »*, résume Grégoire Bosselut.

Près de 700 entretiens prévus avec les athlètes

Il existe bien sûr un grand nombre de méthodes visant à renforcer l'esprit de groupe : par des jeux de rôle ou des activités extrasportives notamment, mis œuvre par des entraîneurs talentueux, des « meneurs d'hommes ». *« Elles restent néanmoins très empiriques, subjectives*, relève Patrick Sayd, chercheur au CEA Tech de Paris-Saclay qui participe au projet Team-Sports. *Jamais évaluées scientifiquement, elles font l'objet de préjugés et de diverses croyances.* » On ne sait pas très bien, par

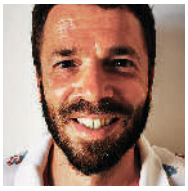


LIST CEA TECH

Analyser en temps réel le comportement des joueurs sur le terrain sera possible à partir du programme Team-Sports, grâce à des captures d'images traitées par un algorithme (ici, l'équipe de France féminine de rugby à 7 au Centre national du rugby à Marcoussis, Essonne).

exemple, jusqu'à quel point la cohésion devrait être recherchée. « *Plusieurs études suggèrent qu'un certain niveau d'émulation et de concurrence individuelle doit être maintenu pour que les joueurs se dépassent et se remettent régulièrement en question* », signale ainsi Grégoire Bosselut. Les connaissances sont encore plus lacunaires pour tout ce qui concerne le « positionnement identitaire » des joueurs. Autrement dit, leur capacité à s'identifier à leur groupe (identité sociale) ou à se recroqueviller plutôt sur eux-mêmes (identité individuelle). Personne ne sait vraiment pourquoi un athlète tendra à passer du « je » au « nous », d'un niveau identitaire à un autre, ni quels effets ces variations produiront sur ses performances. « *Devant le point de penalty, un footballeur doit-il se focaliser sur son groupe ou sur sa propre image et ses intérêts personnels, les deux positionnements pouvant susciter des émotions dysfonctionnelles ?* » interroge Mickaël Campo.

Le programme Team-Sports comporte trois lots d'études. Le premier visera à identifier tous les facteurs qui influencent le positionnement des athlètes, comme la période de l'année, les types d'entraînement, les résultats, la négociation d'un contrat ou encore la douleur physique. Pour cela, 640 entretiens seront réalisés auprès de joueurs de football, rugby, hand, volley et basket. Ces interviews, qui ont débuté en avril, seront réitérées en août, octobre prochains et janvier 2022 afin de couvrir une saison entière. 70 entretiens seront en outre organisés avec les entraîneurs des équipes de France. Ils répertorieront, cette fois-ci, l'ensemble des stratégies utilisées par ces derniers pour optimiser la dynamique de groupe. « *En plus de*



GRÉGOIRE BOSSELUT

« On cherche trop souvent à assembler une équipe d'experts et non une équipe experte »

Grégoire Bosselut, maître de conférences à l'université de Montpellier et au Centre européen de recherche sur le mouvement humain (EuroMov)

PROGRAMME

La recherche française dans les starting-blocks

LABORATOIRE MOUVEMENT SPORT SANTÉ (M2S), UNIVERSITÉ RENNES 2

Optimiser la performance lors des services au tennis est l'objectif du projet Best-Tennis fondé sur l'analyse de données vidéo biomécaniques et cognitives.

20 millions d'euros : voilà la somme attribuée par l'État au Programme prioritaire de recherche visant à aider la préparation des sportifs pour les JO de Paris. Cette initiative, inédite en France, repose sur la mobilisation de la communauté scientifique *« afin de répondre aux besoins des sportifs de haut niveau »*, précise Vincent Nougier, responsable du groupement de recherche Sport et activité physique au CNRS qui coordonne le programme. 12 projets ont été sélectionnés ainsi en 2019 et 2020, tels Neptune, qui se focalise sur les stratégies de gestion de course des nageurs, Best-Tennis, qui cherchera à perfectionner les services à l'aide de données cognitives et biomécaniques, et donc aussi Team-Sports pour optimiser les dynamiques de groupe dans les sports collectifs. *« Avec à chaque fois une implication très forte des fédérations*, souligne Vincent Nougier. *L'idée étant de faire dialoguer davantage et mieux le monde de la recherche avec celui du sport et que ces recherches soient directement utilisables sur le terrain. »*

fournir une base de données inédite, l'exercice favorisera les échanges entre fédérations », se réjouit Mickaël Campo.

Le deuxième volet examinera l'impact des positionnements identitaires sur les performances des sportifs. Les chercheurs induiront pour cela des positionnements, soit individuels, soit collectifs, par une variété de méthodes : images subliminales, scénarios fictifs, port ou non du maillot de l'équipe, etc. Puis ils analyseront, sur le terrain et avec l'aide des entraîneurs, comment ces positionnements affectent le jeu des athlètes (prises de décision, coordinations motrices, capacité à se dépasser physiquement, etc.).

Le dernier lot d'études, enfin, développera des outils directement utilisables par les sportifs et les entraîneurs. Fondé sur la réalité virtuelle, l'un d'eux permettra aux joueurs de multiplier les expériences identitaires : en visualisant leur portrait sur l'écran géant d'une arène, par exemple, ou en « s'immergeant » dans un stade conspuant une équipe. *« Un sportif en fin de carrière est fort mentalement parce qu'il a quasiment tout vécu*, avance Mickaël Campo. *Nous faisons ainsi le pari que les jeunes athlètes, grâce aux environnements virtuels, accéléreront leur expérience et géreront plus facilement tout un tas de situations. »*

Des milliers d'images analysées par des algorithmes

Reposant sur la capture vidéo et l'intelligence artificielle, un second dispositif analysera en temps réel et de manière totalement automatisée la dynamique des équipes. Il permettra de traquer, à l'entraînement comme en compétition, une somme d'informations et de comportements révélateurs comme *« le nombre de fois où des joueurs mettent leurs mains sur les genoux et les hanches en signe de découragement, les temps de réaction avant de délivrer une passe et lancer une contre-attaque, ou les combinaisons de défenseurs et d'attaquants les mieux synchronisés* », détaille Patrick Sayd. Les entraîneurs utiliseront cet outil, à terme, depuis leurs tablettes et smartphones. Mais pour le développer, des centaines de milliers d'images passeront au crible d'algorithmes de *supervised learning* (apprentissage supervisé) et de supercalculateurs. Issues des vidéos fournies par les fédérations, ces images proviendront également des caméras que les chercheurs ont commencé à installer au Centre national du rugby à Marcoussis (Essonne) ou à la Maison du handball (Val-de-Marne). *« Nous ne proposerons pas de recettes miracles aux entraîneurs, tant la performance sportive est complexe, mais de nouveaux et précieux outils d'aide à la décision* », insiste Mickaël Campo. De quoi, tous l'espèrent, aider à atteindre les objectifs de médailles à Paris. ■

Franck Daninos @fdaninos

Transmettre l'espoir de vaincre le cancer

Léguez à l'Institut Curie, 1er Centre français de recherche en cancérologie

Transmettre tout ou une partie de ses biens à l'Institut Curie, premier centre français de recherche en cancérologie, est un formidable message d'espoir pour tous ceux qui luttent contre le cancer.

En soutenant les efforts de l'Institut Curie, fondé par Marie Curie, vous effectuez un geste de générosité envers les générations futures, vous donnez aux chercheurs et médecins les moyens de prendre le cancer de vitesse et associez votre nom à ce combat pour la vie.

LEGS - DONATIONS - ASSURANCES-VIE

institut Curie

ENSEMBLE, PRENONS
LE CANCER DE VITESSE

curie.fr

Pour tout renseignement contacter Catherine Ricatte - Institut Curie :
26, rue d'Ulm - 75248 Paris Cedex 05 - 01 56 24 55 34 - catherine.ricatte@curie.fr

institut Curie

BULLETIN DE DEMANDE D'INFORMATION à compléter à retourner sous enveloppe à l'adresse ci-dessus.

☐ Je désire recevoir votre documentation sur les legs, donations et assurances-vie en faveur de l'Institut Curie.

☐ Je souhaite être contacté en toute confidentialité par votre responsable legs, donations et assurances-vie.
Vous pouvez me joindre au numéro ci-contre ▶

☐ Mme ☐ M. Nom : .....

Prénom : .....

Adresse : .....

Code postal : |_|_|_|_|_|

Ville : .....

Tél. : |_|_| |_|_| |_|_| |_|_| |_|_|

SA0721

« Deepfakes », la traque aux vidéos truquées est ouverte

Depuis leur apparition en 2018, ces contenus manipulés par intelligence artificielle amusent autant qu'ils inquiètent. Les méthodes de détection, qui reposent elles-mêmes sur des algorithmes, se multiplient.

En ce mois de mars 2021, sur son compte Twitter, Darla n'a de cesse de défendre son employeur Amazon et de critiquer ses collègues, en Alabama (États-Unis), qui tentent de monter un syndicat. Mais le voile est vite levé : ce compte est une parodie signée d'un comédien pour se moquer des tentatives du géant américain du commerce en ligne de délégitimer la création du syndicat avec de faux comptes Twitter d'employés. Et la photo de Darla, jeune femme à lunettes, est un *deepfake* (un « hypertrucage »), un visage de synthèse créé par intelligence artificielle à partir du site ThisPersonDoesNotExist (« Cette personne n'existe pas »).

Analyser les reflets sur l'iris des yeux

Coïncidence, au même moment, des chercheurs de l'université de Buffalo dans l'État de New York (États-Unis) dévoilent un moyen de débusquer automatiquement de tels artifices. Il consiste à analyser les reflets de lumière sur l'iris des yeux. Sur un vrai visage, les deux iris sont similaires, par leur forme comme leur couleur. Pas sur des visages artificiels. Les chercheurs ont d'abord entraîné un algorithme à en reconnaître les caractéristiques sur une base de visages non truqués. Après quoi, de faux visages du site ThisPersonDoesNotExist ont été soumis au même algorithme : celui-ci a su repérer l'artifice dans 94 % des cas. Le procédé ne fonctionne toutefois que sur des visages où les deux reflets apparaissent. Et elle ne permet de s'attaquer pour le moment qu'à des images fixes. *« Dans son principe, cette méthode de détection pourra fonctionner aussi sur des vidéos*, assure Siwei Lyu, spécialiste en « sciences forensiques » et coauteur de ce projet. *Mais les séquences actuelles n'étant pas en haute résolution, les reflets sur les yeux ne sont pas forcément visibles. »*

Les *deepfakes* sont en effet surtout connus — et redoutés — dans leur forme vidéo. Apparus en 2018 pour des contenus pornographiques, ils diffèrent des montages et des modèles 3D créés avec des logiciels d'infographie : ils sont produits automatiquement par des algorithmes appelés réseaux génératifs antagonistes (*lire* S. et A. *n° 862, décembre 2018*), à partir de visages authentiques. Le résultat peut être un visage totalement inventé, ou remplacé par celui d'une autre personne réelle par un procédé appelé *faceswap* (« remplacement de visage ») (1). Il est possible d'aller encore plus loin en appliquant aux lèvres d'une personne un mouvement réel capté sur un autre individu par une caméra (2). On obtient ainsi une véritable marionnette numérique à laquelle on fait dire ce que l'on veut. Début mars, un spécialiste belge en effets spéciaux a posté sur le réseau social TikTok de fausses séquences confondantes avec Tom Cruise *(voir photos ci-contre)*. Il a fait appel à un acteur capable d'imiter la gestuelle de la star américaine et a peaufiné le tout par des retouches d'images, montrant jusqu'où il était possible d'aller.

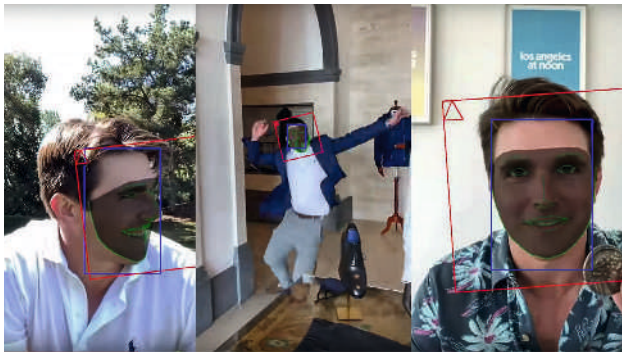
EUROCOM

« Ce n'est pas parce qu'aucun défaut n'est visible par l'humain que la machine ne va rien détecter »
Jean-Luc Dugelay, enseignant chercheur à Eurocom, à Sophia-Antipoplis

Ces moyens ne sont pas — encore — à la portée de tout le monde et les *deepfakes* restent essentiellement cantonnés à des blagues sur Internet. Pourtant, ils inquiètent. Facebook et Twitter ont annoncé qu'ils supprimeraient ceux cherchant à tromper le public. D'autant que les outils sont de plus en plus faciles d'usage, avec des applications mobiles comme Wombo qui a séduit dix millions d'utilisateurs deux mois après son apparition en février. À l'origine, pour manipuler un visage existant, il fallait fournir aux algorithmes quantité d'images d'une même personne

PHOTOS : VFXCHRIS UME

pour obtenir un visuel satisfaisant. Or, *« on parvient maintenant à faire un* faceswap *avec juste une vidéo et une photo de la personne que l'on veut faire apparaître »*, prévient Jean-Luc Dugelay, chercheur à l'école d'ingénieurs Eurecom à Sophia Antipolis (Alpes-Maritimes). Les risques en matière de désinformation sont évidents, de même que pour l'identification en ligne. *« Bientôt, on pourra non seulement générer en temps réel une vidéo de quelqu'un d'autre mais aussi lui faire bouger la tête, cligner des yeux, selon ce que l'interlocuteur, une banque en ligne, un animateur de session Zoom ou Skype par exemple, aura instauré comme critère de vérification »*, continue Jean-Luc Dugelay. C'est pourquoi depuis un an, les travaux en matière de détection s'accélèrent. Ils reposent sur des algorithmes d'apprentissage automatique capables de débusquer ▶

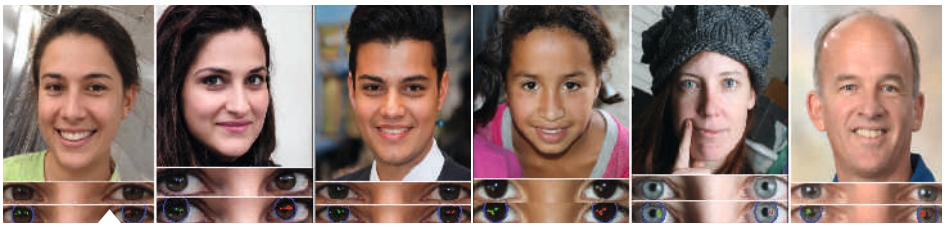


◀ ▲ **L'acteur américain Tom Cruise** (à droite) et le comédien Miles Fischer (à gauche). Le spécialiste des « deepfakes » Chris Ume a mis en scène dans de courtes vidéos le second imitant la gestuelle du premier. Il a ensuite remplacé le visage de Miles Fischer par celui de l'acteur américain.

défauts et incohérences. Les reflets sur les iris, mais aussi le clignement des yeux, mal géré par les premiers *deepfakes*, des problèmes de résolution d'image, de couleurs, d'ombres, etc. *« Les erreurs détectables par les humains et celles qui le sont par les machines ne sont pas les mêmes*, explique Jean-Luc Dugelay. *Ce n'est pas parce qu'aucun défaut n'est visible que la machine ne va rien détecter. »*

Un code intégré au contenu pour garantir l'authenticité

Le Media Lab du MIT (États-Unis) a mis sur pied en avril 2020 le projet expérimental Detect Fakes. Dans un premier temps, les internautes sont invités à distinguer séquences authentiques et *deepfakes*. *« Nous comptons nous servir des données recueillies pour bâtir de futurs systèmes de détection et comprendre comment mieux sensibiliser les gens »*, explique Matt Groh, doctorant au laboratoire. Plusieurs bases de données de *deepfakes* ont été constituées pour entraîner des algorithmes à repérer les manipulations. Mais c'est Facebook qui a frappé le plus grand coup avec un corpus de 104 000 vidéos créées pour le Deepfake Detection Challenge, un concours de programmation qui a mobilisé 2114 équipes de recherche entre décembre 2019 et juin 2020.



SHUHUET AL.

En analysant les reflets de la lumière dans les yeux, un algorithme est parvenu dans 94 % des cas à diifférencier les visages truqués (les trois portraits de gauche) des vrais (les trois de droite).

POUR EN SAVOIR PLUS

- L'interview complète de Jean-Luc Dugelay d'Eurecom : **sciav.fr/892Dugelay**
- Le projet du MIT Detect Fakes : **sciav.fr/892MIT**
- Le site du spécialiste en effets spéciaux Chris Ume avec des deepfakes de Tom Cruise ou Jacques Brel : **sciav.fr/892ChrisUme**

Pour l'heure, les approches telle que celle de l'analyse des iris souffrent de la spécificité des éléments considérés : il faut d'autres algorithmes, entraînés différemment, pour traquer des incohérences ailleurs dans l'image. Autre problème : quand un algorithme se montre performant, il ne l'est pas tout le temps selon la manière dont l'image a été obtenue. Ainsi, la solution qui a remporté le Deepfake Detection Challenge détectait les faux à plus de 82 % quand elle était testée sur la base de données sur laquelle elle avait été entraînée. Mais face à des *deepfakes* créés selon d'autres méthodes, le score est tombé à 65,18 %. *« Cette différence est énorme*, commente Jean-Luc Dugelay. *Cela signifie que les réseaux de neurones de détection sont spécialisés dans un type* de deepfakes, *généré d'une certaine façon, avec ses défauts types. »*

Des travaux récents ouvrent néanmoins des perspectives. Une équipe d'universitaires californiens est partie du principe que parler déclenche chez une personne des mouvements musculaires faciaux qui lui sont propres. Elle a créé une empreinte de ces mouvements à partir de vidéos authentiques de personnalités politiques. Cette empreinte est alors comparée à celle issue de *deepfakes* : la détection marche à plus de 90 %, quelle que soit la méthode ayant produit le truquage. Mais, par définition, une empreinte ne marche que sur les vidéos d'une personne en particulier. De quoi en tout cas débusquer celles ciblant des célébrités. La notion d'empreinte, justement, est une direction privilégiée. Microsoft, notamment, a le projet d'intégrer à un contenu, au moment de sa création, un code qui servirait à vérifier si une image a été truquée après coup. À l'université d'État de New York à Binghamton, une équipe s'est concentrée sur un critère biologique : le changement de couleur de la peau en fonction du rythme cardiaque. Or non seulement cette technique s'est révélée efficace à plus 93 % mais les chercheurs ont découvert qu'elle pouvait permettre d'extraire une signature du générateur de *deepfakes* utilisé. Une direction prometteuse. Car savoir comment a été fabriquée une marionnette numérique, c'est déjà entrevoir qui en tire les ficelles. ■ **Arnaud Devillard**

@A_Devila

(1) sciav.fr/892Faceswap
(2) http://sciav.fr/892Paroles

AUDIO

Les fausses voix alertent aussi

L'an dernier, le P-DG d'une entreprise britannique d'énergie reçoit un appel téléphonique du patron de la maison mère en Allemagne : il faut transférer en urgence 200 000 livres sterling (254 000 euros) vers un fournisseur hongrois. Le P-DG s'exécute... avant de découvrir que l'appel était un faux. En l'occurrence, un *deepfake* de la voix du patron allemand, en reproduisant la diction et l'accent. Générés de la même manière que les images et nécessitant très peu de données de départ, les faux sons animent aussi la recherche. Des données phonétiques, notamment sur les consonnes, dépendantes de l'anatomie du locuteur, peuvent aider à trahir une voix truquée. Le projet Detect Fakes du MIT (États-Unis) porte autant sur des visages en vidéo que sur les propos tenus. De son côté, Google a constitué une base de données de milliers de phrases prononcées par 68 voix artificielles dans le but d'entraîner des algorithmes. Elle est notamment utilisée pour un concours de systèmes de détection, l'ASVspoof Challenge, dont la quatrième édition s'est tenue en avril.

RHU TRT_CSVD

Les fragiles petits vaisseaux de notre cerveau

Basé sur une découverte française majeure, un ambitieux programme de recherche commence à dévoiler les mécanismes à l'origine des maladies des petits vaisseaux du cerveau. Encore mal connues, elles s'expriment avec l'âge. Dans le cerveau, elles peuvent provoquer infarctus, hémorragies et autres lésions.

De minuscules vaisseaux sanguins parcourent le cerveau. Ils sont si fins qu'on ne peut les observer directement, même avec des techniques d'imagerie sophistiquées. Leur rôle est pourtant immense : ils fournissent l'oxygène indispensable à la survie et au fonctionnement de chaque neurone. En réponse aux variations de pression artérielle, ils modifient le diamètre de leur section pour adapter finement le débit sanguin et irriguer correctement le tissu cérébral. Quand ils sont malades, les troubles sont multiples : l'humeur, l'équilibre, la mobilité, la mémoire, la cognition peuvent être perturbés. Après 65 ans, plus des deux tiers d'entre nous seraient concernés. Certaines personnes sont frappées plus jeunes. Ces pathologies (SVD, pour small vessel diseases, en anglais) sont à l'origine de 30 % des accidents vasculaires cérébraux, 25 % des infarctus cérébraux et 90 % des hémorragies intracérébrales. En cause : l'hypertension artérielle et le vieillissement, mais pas seulement. Plusieurs facteurs génétiques peuvent être impliqués.

Depuis une trentaine d'années, un temps très court à l'aune de la connaissance scientifique, on commence à y voir plus clair. Hugues Chabriat, coordonnateur du Centre de référence pour les maladies vasculaires rares du cerveau et de l'œil, à Paris, et Anne Joutel, chercheuse Inserm à l'Institut de psychiatrie et neurosciences de Paris, ont consacré une grande partie de leur carrière aux SVD. Avec Marie-Germaine Bousser et Elizabeth Tournier-Lasserve, ils ont découvert CADASIL, une artériopathie cérébrale héréditaire. En identifiant les mutations génétiques qui en sont à l'origine, ils ont mis la main sur un modèle d'étude des SVD. Jusqu'alors, le déclin cognitif et les troubles moteurs liés au vieillissement étaient le plus souvent mis sur le compte de l'hypertension artérielle, sans autre réponse. L'étude de CADASIL montre le rôle joué par d'autres acteurs, éclaire les mécanismes moléculaires de l'atteinte des petits vaisseaux du cerveau, corrige de faux diagnostics, laisse espérer le développement de traitements médicamenteux. En 2019, la découverte française a été saluée par The Brain Prize, le plus grand prix international en neurosciences. Les deux scientifiques ont aussi réuni une grosse vingtaine d'équipes de recherche et trois industriels au sein d'un programme de recherche hospitalo-universitaire dédié.

Le Consortium RHU TRT_cSVD

« Après 65 ans, plus des deux tiers d'entre nous seraient concernés, mais d'autres personnes sont frappées plus jeunes. »

Démarré en 2017, le projet a connu de belles avancées. Plusieurs autres gènes et quelques cibles thérapeutiques ont été identifiés. Des outils d'observation directe sur l'animal vivant sont à l'étude. Chez l'homme, on pense y parvenir en passant par la rétine, via l'optique adaptative. Indispensables au diagnostic, au suivi de la maladie et à l'évaluation des traitements, plusieurs marqueurs biologiques et cliniques sont en cours de développement. En parallèle, des scientifiques développent des jeux vidéo thérapeutiques pour évaluer et corriger le handicap des patients. À terme, les équipes espèrent améliorer le fonctionnement des petits vaisseaux altérés. Courant jusqu'à juillet 2023, ce programme de recherche a bénéficié d'un gros financement. Vu l'ampleur de la tâche, il ne suffira pas. Des industriels devront s'engager.

RHU TRT_cSVD
Groupe Hospitalier Lariboisière Fernand-Widal
2 rue Ambroise Paré - 75010 PARIS
Tél. : 01 49 95 68 72
nathalie.gastellier@aphp.fr
fanny.fernandes@aphp.fr
https://treat-svd.fr/

Publi-communiqué

Une microseconde après le Big Bang, l'Univers était liquide

La « soupe » primitive était constituée d'un plasma fluide à la texture douce comme de l'eau.

Au tout premier millionième de seconde qui a suivi la naissance de l'Univers, le Big Bang, toute la matière se trouvait sous la forme d'une « soupe » extrêmement chaude, un plasma liquide d'une température d'environ 2000 milliards de degrés Celsius, soit 100 000 fois la température qui règne au cœur du Soleil. C'est la découverte publiée en juillet par des chercheurs de l'université de Copenhague (Danemark) dans la revue *Physics Letters B*. Un résultat obtenu grâce aux données de l'expérience Alice (A Large Ion Collider Experiment) du Cern, à Genève, qui consiste à faire entrer en collision des ions lourds comme du plomb ou de l'or, puis, à l'aide de puissants détecteurs, étudier les produits de ces collisions.

L'équipe danoise a ainsi confirmé que le plasma, constitué de quarks et de gluons — des particules élémentaires, c'est-à-dire qui ne sont pas composées de particules plus petites —, était un liquide et non un gaz, comme la plupart des plasmas. Mais aussi que ce fluide pouvait changer au fil du temps. « *Ce plasma était la seule matière qui existait pendant la première microseconde du Big Bang. Et nos résultats nous racontent une histoire unique sur la façon dont il a évolué au tout début de l'Univers* », explique You Zhou, professeur à l'institut Niels-Bohr de l'université de Copenhague.

Aujourd'hui, les quarks sont associés par trois pour former des hadrons et constituer le ciment des noyaux atomiques de la matière telle que nous la connaissons. Mais il n'en a pas toujours

OBSERVATIONS

La Terre serait… beaucoup plus chaude que ce qu'indiquent les mesures

L'Univers n'a cessé de se refroidir au cours de son expansion qui dure depuis 13,8 milliards d'années. Pourtant, il serait en réalité plus chaud que ce que nos mesures indiquent. En effet, selon deux physiciens théoriciens de l'université de Genève, la Terre se trouverait en fait dans une région de sous-densité par rapport au reste de l'Univers, ce qui biaiserait les observations. Ils ont en effet cherché à résoudre les incohérences entre la théorie et les mesures que rencontre la cosmologie. Par exemple, celle qui fait que les valeurs obtenues pour la vitesse d'expansion de l'Univers diffèrent selon les méthodes d'observation employées. Or, en choisissant de ne pas fixer de température au fond diffus cosmologique, première manifestation de l'Univers visible, ils sont parvenus à réconcilier théorie et mesures.

Composé de quarks et de gluons, le plasma fluide (en rose) a été séparé sous l'effet de l'expansion de l'Univers pour former ensuite les neutrons (orange) et protons (violet) (vue d'artiste).

HARALD RITSCH / SCIENCE PHOTO LIBRARY

été ainsi. Au cours des 13,8 milliards d'années qui nous séparent de sa création, l'Univers a connu, outre un refroidissement général *(lire l'encadré)*, de nombreuses transformations. *« Au commencement, quarks et gluons ont été séparés dans le plasma par l'expansion de l'Univers. Ensuite, les quarks se sont assemblés en hadrons, soit des protons ou des neutrons, qui font partie des noyaux atomiques. Ces noyaux qui constituent la Terre, nous-mêmes et l'Univers qui nous entoure »*, détaille You Zhou.

Pour recréer les conditions de création de l'Univers, il faut chauffer la matière à des températures extrêmes afin de séparer les quarks et les gluons. L'énergie gigantesque que cela nécessite ne peut être obtenue qu'avec des collisionneurs de particules, comme le Grand Collisionneur de hadrons (LHC), un immense accélérateur de particules de plus de 26 kilomètres de circonférence, situé au Cern. *« Le collisionneur écrase les ions du plasma à une vitesse proche de celle de la lumière. Cela nous permet de voir comment ce plasma de quarks et de gluons est passé de cette soupe chaude aux noyaux des atomes »*, explique You Zhou.

Les propriétés du plasma ont varié au fil du temps

Pour étudier la forme qu'avait ce plasma originel, l'équipe a développé un algorithme capable d'analyser le comportement de toutes les particules produites par la collision des ions dans l'accélérateur. Cela leur a permis de conclure que le plasma *« était fluide et avait une texture douce, comme l'eau »*. En outre, les propriétés du plasma, tels que sa viscosité, ont varié à différents moments après la collision. Ainsi, *a contrario* de la matière que nous connaissons, les propriétés du plasma ont changé au fil du temps. *« Chaque découverte est une brique qui améliore nos chances d'établir la vérité sur le Big Bang. Il nous a fallu environ vingt ans pour découvrir que le plasma quark-gluon était un fluide avant de se transformer en hadrons et en éléments constitutifs de la vie. Par conséquent, ces nouvelles connaissances sur le comportement en constante évolution du plasma sont une avancée majeure pour nous »*, conclut You Zhou. ■

Léa Fournasson

PAR AURÉLIEN ALVAREZ *

Des transitions dans la continuité

L'histoire des mathématiques est caractérisée par une certaine forme de continuité puisqu'un théorème démontré il y a 2500 ans n'est pas moins vrai aujourd'hui qu'à l'époque. Mais le développement de cette science est aussi marqué par ce qu'on pourrait appeler des transitions, quand l'apparition dans un premier temps d'un élément perturbateur permet de prendre conscience progressivement de territoires jusque-là insoupçonnés. Souvent beaucoup plus riches, ces territoires renouvellent alors notre questionnement et notre compréhension du monde.

On pourrait donner de nombreux exemples ; en voici quelques-uns autour des nombres, de la géométrie et de la dynamique. L'irruption des nombres irrationnels (1) au Ve siècle avant notre ère fut un véritable coup de tonnerre. À la Renaissance, ce sont les nombres complexes (2) qui firent leur apparition, timidement d'abord, avant d'envahir presque toutes les sciences à partir du XIXe siècle, à commencer par la formalisation mathématique de la mécanique quantique. Pendant longtemps, l'espace a été unique et si l'on y faisait de la géométrie, celle-ci était euclidienne. Le temps et l'espace sont ensuite devenus des sujets de réflexion pour les scientifiques et les philosophes avant qu'une véritable révolution intellectuelle s'opère au XIXe siècle : on découvrait alors la pluralité des espaces et des géométries, et même du temps un peu plus tard avec Albert Einstein. Dans le monde de la dynamique, le paradigme fut d'abord celui du mouvement périodique, lointain héritage du monde des Grecs anciens, avant que des dynamiques chaotiques, beaucoup plus riches et compliquées, prennent le devant de la scène.

> « L'irruption des nombres irrationnels au Ve siècle avant notre ère fut un véritable coup de tonnerre »

(1) Un nombre irrationnel ne peut pas, par définition, s'écrire comme le rapport de deux nombres entiers. C'est le cas de la racine carrée de 2 qui est la longueur de la diagonale d'un carré de côté 1 d'après le théorème de Pythagore.

(2) Les complexes font intervenir les fameux nombres i et $-i$ vérifiant $i^2 = -1$.

* Professeur à l'École normale supérieure (ENS) de Lyon.

À l'assaut du moustique-tigre

Cet insecte vecteur de maladies tropicales s'est installé en France métropolitaine. Les chercheurs multiplient les stratégies pour limiter sa propagation.

Par Loïc Chauveau @Loïc_Chauveau

Depuis le 1er mai, la France est en « *surveillance renforcée* ». Car avec la belle saison, le redouté moustique-tigre, *Aedes albopictus*, est de retour. Même intense, le froid hivernal n'a pas tué ses œufs. Il est reparti pour une saison des amours et de reproduction. Diffusant sur la France tempérée des maladies autrefois tropicales : Zika, chikungunya, dengue (lire l'encadré p. 77) . En 2020, Santé Publique France a dénombré trois foyers de dengue autochtone dans le Var et à Nice, trois autres dans le Gard et l'Hérault. Autochtone signifie qu'aucune des 13 victimes recensées n'avait voyagé auparavant dans une zone à risque ni n'avait eu de contact avec une personne en revenant. La crainte des agences régionales de santé (ARS), c'est que ce bilan s'alourdisse d'année en année. Le risque sanitaire s'installe.

Le moustique-tigre est redoutable. Au contraire du traditionnel *Culex pipiens* qui « zonzonne » et pique la nuit, la femelle *Aedes albopictus* attaque à n'importe quel moment de la journée. L'arrivée en France de cet insecte diptère asiatique date de 2004. Ce sédentaire (il ne se déplace jamais à plus de 200 mètres de son lieu de naissance) a voyagé grâce à ses œufs dissimulés dans des pneus et des plants de bambous importés. Il a ensuite colonisé la France en se faufilant dans les habitacles des voitures et camions, sa progression suivant les grands axes routiers. Il est aujourd'hui présent dans 64 départements. On ne peut plus s'en débarrasser.

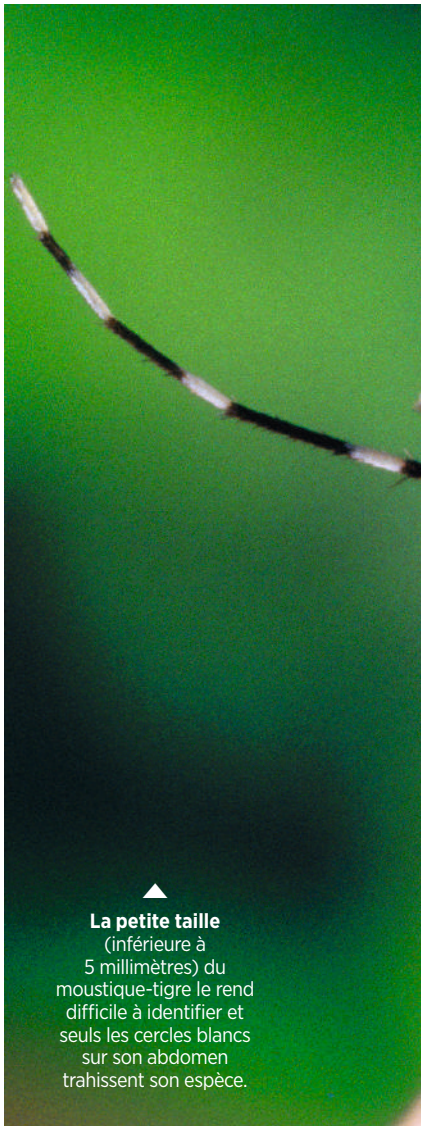
« *L'été, nous devons désormais être sur la défensive,* prévient Johanna Fite, chargée de la mission Vecteurs à l'Agence nationale de sécurité sanitaire (Anses). *Chaque personne doit vérifier si, dans son environnement proche, il n'y a pas des eaux stagnantes et de la végétation susceptibles de servir de lieu de ponte.* » Vider les coupelles des pots de fleurs, couvrir les réservoirs d'eau de pluie, débroussailler les haies et couper les herbes hautes : voilà les premiers conseils des autorités de santé. Et pour cause : empêcher les femelles de pondre constitue le meilleur moyen de freiner la prolifération des moustiques.

64
C'est le nombre de départements sur 95 en France métropolitaine ou le diptère est présent.

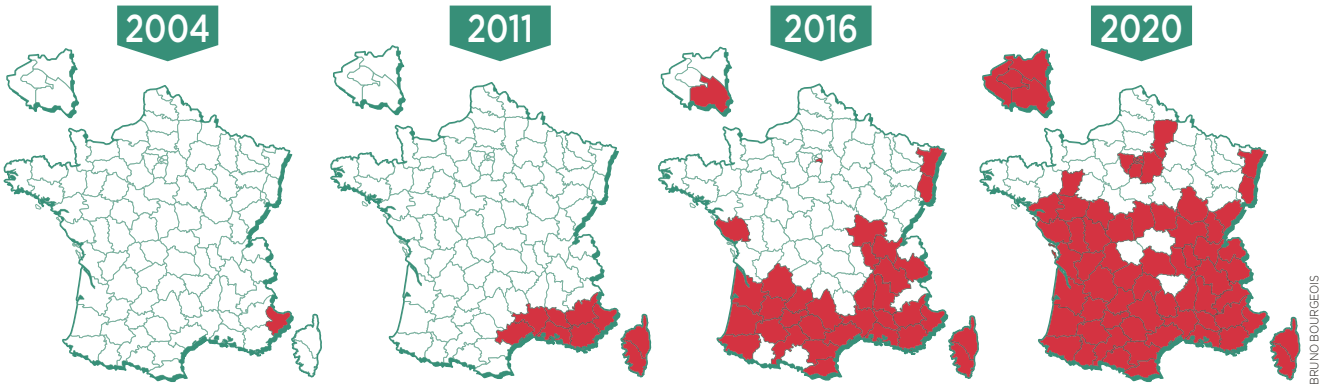
2000
C'est le nombre d'œufs que la femelle va pondre au cours de de son mois de vie.

Les villes et banlieues l'attirent

L'exemple des départements et régions d'outre-mer (DROM) montre cependant que cette action citoyenne ne suffit pas. D'autant qu'*Aedes albopictus* adore vivre dans les villes et



La petite taille (inférieure à 5 millimètres) du moustique-tigre le rend difficile à identifier et seuls les cercles blancs sur son abdomen trahissent son espèce.



BRUNO BOURGEOIS

En seize ans, le moustique-tigre s'est répandu dans les deux tiers des départements du territoire métropolitain.

CDC / BSIP

banlieues. Les Ententes interdépartementales de démoustication (EID), qui sont en charge de la lutte partout en France, ont observé que le moustique-tigre profite des jardins pavillonnaires, des parcs, des cimetières, des bouches d'évacuation de la voirie. *« Nous sommes donc obligés de renouveler notre arsenal de lutte en cherchant dans son mode de vie les moyens de réduire considérablement sa population »*, explique Frédéric Simard, directeur de l'unité Maladies infectieuses et vecteurs (Mivegec, IRD) à Montpellier.

Une résistance aux insecticides

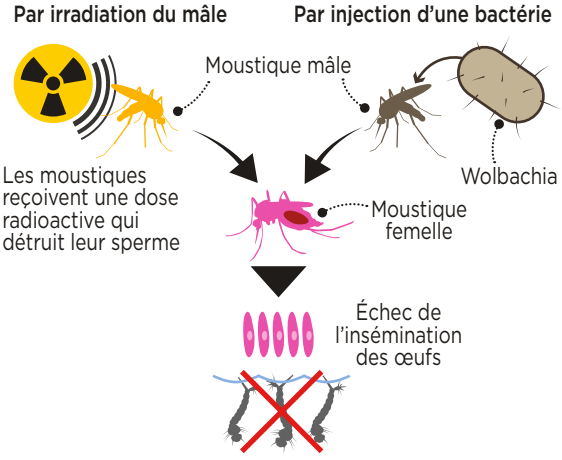
C'est qu'il y a urgence. Les (agences régionales de santé) doivent gérer les émergences de maladies transmises par le moustique. Il leur faut mobiliser des moyens lourds : éradication des diptères à l'abord du domicile des personnes ayant déclaré la maladie, application d'insecticides dans le quartier, etc. Mais la présence d'une rivière peut empêcher la vaporisation de produits chimiques au risque de la polluer. Un autre problème, majeur, se pose : les biocides chimiques sont de moins en moins efficaces. Au fil des générations, les moustiques ont développé une immunité. *« Une étude du CNRS montre même que ces résistances ne sont pas réversibles,* s'alarme Johanna Fite. *Les gènes en cause se transmettent d'une génération à l'autre même si l'on arrête d'utiliser l'insecticide.* » Il n'y a aujourd'hui que deux biocides autorisés en France. Tout d'abord le BTI (*Bacillus thuringiensis israelensis*), une bactérie présente naturellement dans les sols qui s'attaque aux larves. Sa pulvérisation par des professionnels est le principal moyen de lutte en milieu naturel. Les particuliers et les pouvoirs publics, eux, n'ont qu'une molécule autorisée dans leurs bombes insecticides, la deltaméthrine, de la famille des néonicotinoïdes. Pour en améliorer l'efficacité, le laboratoire SiFCir (Inrae/université d'Angers) étudie un virus d'insecte qui améliore la diffusion du produit chimique chez le moustique.

Les biocides ne sont donc pas totalement abandonnés, mais ils devront faire toute la place à des moyens de lutte moins nocifs pour la santé et l'environnement. *« Nous avons trois étapes de la vie du moustique où nous pouvons agir,* résume Frédéric Simard. *Au moment où les insectes s'accouplent, au moment où la femelle pique et au moment où elle pond.* » Agir au moment de la piqûre, c'est déjà ce que tentent de faire les biocides. Pour les remplacer, ont émergé il y a une vingtaine d'années, les pièges à CO_2. Leur principe repose sur le fait que les femelles sont attirées par le dioxyde de carbone émis par le corps humain. Des leurres devraient donc pouvoir les attirer et les détourner de leur cible. Les sites Internet en proposent des dizaines de modèles à partir d'une centaine d'euros. Mais en réalité, cette solution n'a pas apporté de preuves scientifiques de son efficacité. *« On ne sait pas précisément comment marche le sens olfactif des moustiques et on ne peut donc rien en déduire à propos de l'efficacité d'un piège »*, note Frédéric Simard. Pour en avoir le cœur net, l'Anses a commandé une expertise sur l'efficacité des pièges auprès d'un panel de chercheurs. Les résultats sont attendus au cours de cet été.

Certains microbiotes de la peau ont sa préférence

Si leur efficacité ne semble pas aussi grande qu'espéré, c'est que les mécanismes permettant d'expliquer l'attraction du moustique sont probablement

Deux techniques pour rendre stériles les moustiques



BRUNO BOURGEOIS

Une fois relâchés dans la nature, les mâles stériles obtenus par l'une ou l'autre de ces manipulations en laboratoire s'accoupleront avec des femelles dont les œufs ne pourront pas éclore.

DÉVELOPPEMENT

Les trois phases de vie du moustique

Comme tous les moustiques, Aedes albopictus connaît trois phases de vie : l'œuf, la larve puis le passage à l'imago après la nymphe. Ces insectes ne s'accouplent qu'une seule fois. Le sperme est stocké dans une « spermathèque ». Après chaque « repas de sang », la femelle peut pondre environ 200 œufs. Cette manœuvre se répète tous les deux à trois jours pendant toute sa durée de vie, qui est d'un mois. Chaque femelle pond ainsi 2000 œufs. Sur les deux espèces de moustiques vecteurs de virus pathogènes, *Aedes aegyptii* et *Aedes albopictus*, seul le dernier est présent en France. Cette espèce a en effet la caractéristique de pondre des œufs qui supportent les températures hivernales même très basses.

VALERY HACHE / AFP

Les insecticides sont de moins en moins efficaces, les moustiques ayant développé une immunité (ici, vaporisation à La Gaude, dans les Alpes-Maritimes).

bien plus compliqués. « *L'olfaction est le principal sens qui permet aux moustiques de localiser leur cible*, expose Claire Valiente Moro, du laboratoire d'écologie microbienne de l'université Claude-Bernard à Lyon. *Mais les développements récents de l'écologie chimique indiquent que les organes sensoriels du moustique situés dans ses antennes répondent également à des composés organiques volatils présents sur la peau de l'homme et dans sa sueur.* » La piste du seul CO_2 est trop étroite, et c'est sans doute pourquoi les individus ne sont pas égaux devant les piqûres : les différences de composition du microbiote de la peau les rendent plus ou moins « appétissants ». De plus, le mode de vie compte. Les personnes ayant bu de l'alcool et les femmes enceintes sont ainsi davantage ciblées par les moustiques.

Pour mieux comprendre, l'équipe de Claire Valiente Moro a réalisé sur cinq hommes et cinq femmes des tamponnages de la peau aux aisselles, aux pieds et aux bras qui ont été analysés par chromatographie. « *Nous avons ainsi isolé 45 molécules que nous avons soumises à des moustiques en cage pour déterminer ceux qui étaient attractifs.* » Résultat : trois substances semblent avoir particulièrement intéressé les femelles : le 2-méthyl-1-butanol, le dodécanol et le 3-méthyl-1-butanol. Malheureusement, le développement vers des pièges attracteurs ou des produits répulsifs n'a pas encore démarré. « *La clé de la réussite, c'est d'associer plusieurs molécules qu'il faudrait d'ailleurs changer régulièrement pour obtenir un effet de synergie* », estime Claire Valiente Moro.

En attendant, les chercheurs avancent sur une autre piste : attaquer l'insecte lors de la phase d'accouplement. Ainsi, début avril, le premier essai de lâcher de moustiques mâles stériles en France a débuté à Saint-Joseph dans l'île de La Réunion. Cette « technique de l'insecte stérile » (TIS) repose sur l'irradiation *(voir schéma)*. « *Selon des normes édictées par l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA), les moustiques reçoivent une dose radioactive qui détruit seulement leur sperme*, détaille Frédéric Simard. *Ces individus sont ensuite relâchés en grand nombre dans le milieu naturel où ils entrent en compétition avec les sauvages pour la fécondation des femelles.* »

Une autre manière d'arriver à obtenir des insectes qui ne soient plus vecteurs des virus est d'utiliser une bactérie, *Wolbachia*, connue pour inhiber la capacité du parasite *Plasmodium* (responsable du paludisme) à infecter les anophèles dont il se sert comme vecteur. Une technique consiste à l'injecter en laboratoire dans des œufs d'*Aedes* : *Wolbachia* s'y intègre bien et y persiste à travers les générations. Une autre voie consiste à profiter du fait qu'un mâle infecté par la bactérie ne peut inséminer les œufs d'une femelle qui ne l'est pas. Une filiale de Google, Verily, tente ainsi de produire des *Aedes* infectés en grand nombre. En juin, un essai comparatif mené dans deux ▸

CLAIRE VALIENTE-MORO

« Les mâles rendus stériles entrent en compétition avec les sauvages pour la fécondation des femelles »

Claire Valiente Moro, enseignante-chercheuse au laboratoire d'écologie microbienne de l'université Claude-Bernard, à Lyon

SHUTTERSTOCK

Quatre substances chimiques sont autorisées dans les répulsifs à utiliser sur la peau, mais attention à ne pas dépasser les doses.

DISPOSITIFS

Comment prévenir efficacement les piqûres

Se protéger des moustiques oui, mais comment ? Première barrière naturelle : les vêtements. Ils doivent être amples, de couleur claire et bien couvrants, notamment au niveau des jambes. « *Le moustique-tigre vit plutôt au ras du sol,* » précise Grégory L'Ambert, entomologiste médical à l'Entente interdépartementale pour la démoustication du littoral méditerranéen. La nuit, une moustiquaire, de préférence imprégnée d'insecticide, constitue aussi un écran efficace contre toutes les espèces. Autre technique : le ventilateur. Non seulement, le vent éloigne le moustique mais en plus il disperse nos odeurs qui permettent à l'insecte de nous repérer. Pour ce qui est des répulsifs, il faut privilégier les produits à base d'une des quatre substances chimiques autorisées (DEET, IR3535, KBR3023 ou icaridine, PMDRBO4). Plus leur concentration est importante, plus l'efficacité est grande. Attention à ne pas dépasser les dosages recommandés et le nombre d'applications quotidiennes chez les enfants de moins de 12 ans et les femmes enceintes. Quant aux répulsifs « alternatifs », sous forme de bougie ou de spray à base de géraniums, de citronnelle, ou encore d'eucalyptus citronné, aucun n'a apporté la preuve de son efficacité. « *Et planter des géraniums ou de la citronnelle dans son jardin ne suffit pas non plus*, prévient Grégory L'Ambert, *car la concentration en substance active est bien trop faible.* » Pas d'efficacité prouvée non plus pour les dispositifs à LED ou ultrasons. Les huiles essentielles repoussent, elles, les moustiques mais pendant 20 minutes à peine et présentent un risque d'allergie. Enfin, les bracelets pour les enfants, sont à proscrire car ils peuvent provoquer « *des réactions telles que des brûlures à la suite d'un contact accidentel de la peau ou des muqueuses avec les substances chimiques* » qu'ils contiennent, a mis en garde l'Agence nationale de sécurité sanitaire (Anses) en 2020. Dernière option : les insecticides. Redoutablement efficaces sous forme de bombes, ils peuvent aussi être diffusés grâce à des prises électriques ou des spirales à brûler. À utiliser avec modération, tempère Grégory L'Ambert, seulement en cas de risque sanitaire dans la région : « *Avec une seule famille d'insecticides disponible (les pyréthrinoïdes), des résistances risquent d'apparaître.* » ■

Cécile Coumau

La nuit, une moustiquaire, de préférence imprégnée d'insecticide, constitue un bon écran contre toutes les espèces

INFECTIOLOGIE

Les maladies véhiculées par le moustique-tigre

ZIKA

Le virus Zika est un flavivirus qui se transmet principalement par les moustiques mais peut également passer par la voie sexuelle. La maladie se déclare de 3 à 12 jours après la contamination. Elle provoque des fièvres, des maux de tête, des éruptions cutanées, de la fatigue, des douleurs musculaires et articulaires. Chez les femmes enceintes, le virus peut provoquer des malformations du fœtus. Des microcéphalies ont été constatées au Brésil sur des nouveau-nés.

CHIKUNGUNYA

Le responsable est un arbovirus. La période d'incubation de la maladie est de 2 à 10 jours. Elle provoque des atteintes articulaires très invalidantes aux poignets, doigts, chevilles et pieds, plus rarement aux genoux et hanches. Ces douleurs s'accompagnent de maux de tête, de fièvres, d'éruptions cutanées au niveau du tronc et des membres, une inflammation des ganglions lymphatiques, une conjonctivite.

DENGUE

La dengue est une maladie infectieuse due à un arbovirus de la famille des Flaviridae qui comprend 4 sérotypes. Être infecté par un sérotype donné procure une immunité contre celui-ci mais pas contre les 3 autres. Dans la majorité des cas, la maladie est asymptomatique. Chez ceux qui la développent, elle se signale par une fièvre brutale associée à des douleurs et à une éruption cutanée.

quartiers de la ville indonésienne de Yogyakarta (300 000 habitants), l'un ayant profité d'un lâcher de moustiques portant des œufs traités par *Wolbachia*, l'autre non, a montré une baisse de 77 % des infections. L'étude a été publiée dans le *New England Journal of medecine*. Enfin, une équipe de l'université de Californie (États-Unis) vient de publier des résultats concluants grâce à une manipulation génétique directe avec les « ciseaux moléculaires » CRISPR. Cette fois, la stérilisation est obtenue en réalisant des mutations sur les gènes du système reproductif des mâles.

Des drones pour relâcher des individus stériles

Mais quelle que soit la technique utilisée, l'approche, qui confine à la manipulation génétique, est discutable d'un point de vue éthique. *« Outre les questions d'acceptation sociale, on ne sait rien de ce que pourrait provoquer l'introduction de ces insectes dans la nature »*, reconnaît Frédéric Simard. Ces techniques imposent en outre un élevage d'un grand nombre de moustiques en cage et des moyens de dispersion dans le milieu naturel difficiles à mettre en œuvre. Une innovation technologique peut cependant changer la donne sur ce point : le drone. Lors d'un essai à La Réunion, deux millions de moustiques stériles ont pu être relâchés sur 25 hectares en moins d'une heure à l'aide d'un appareil piloté depuis le sol. La méthode — également testée au Brésil — pourrait se révéler efficace dans les zones urbaines.

Mais quelle est l'efficacité de la stérilisation ? C'est la question que s'est posée Marie-Marie Olive, doctorante au laboratoire Mivegec. *« Nous n'avons recensé que 23 essais de moustiques stériles dans le monde*, raconte la chercheuse. *Les résultats sont encore parcellaires, les articles scientifiques validés peu nombreux, mais ce que l'on constate, c'est que pour être efficace, les lâchers doivent intervenir au tout début de l'émergence des adultes.* » C'est pour évoluer dans un cadre très scientifique que les deux sites de Saint-Joseph ont été choisis : les populations de moustiques y sont isolées et l'efficacité de la méthode pourra ainsi être mieux évaluée.

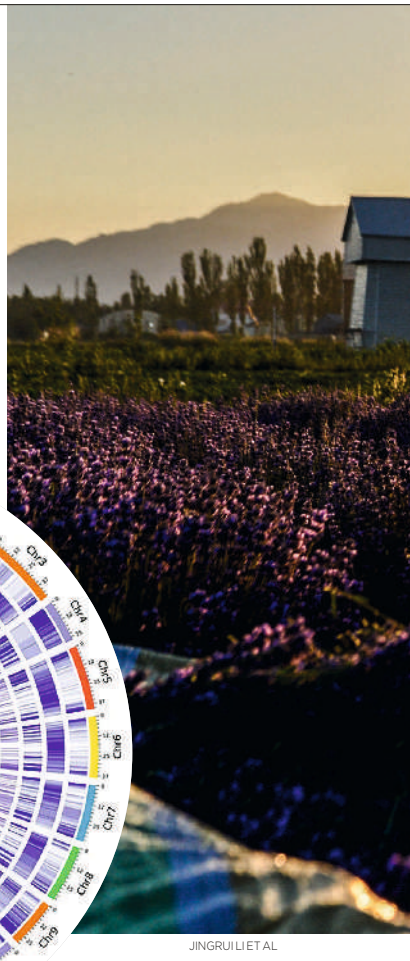
Reste enfin le dernier axe d'attaque du moustique : la ponte. Les Ententes interdépartementales de démoustication ont cartographié les zones propices pour être traitées dès que les conditions deviennent favorables pour l'éclosion, par exemple après un orage d'été remettant en eau des lieux de pontes. Les agents interviennent ainsi ponctuellement par traitement bactérien au BTI, un usage très raisonné pour éviter l'apparition de résistances. Mais on peut être encore plus précis. *« Les femelles sont attirées par la présence de bactéries et certains organismes*, précise Frédéric Simard. *Nous cherchons ainsi à déterminer ce "microbiote de l'eau", où les femelles vont aller préférentiellement, pour y poser des pièges »*. Cette technique est en cours d'expérimentation notamment sur le littoral méditerranéen. ■

PATRICK PLEUL / DPA / AFP

Ce piège est censé attirer les moustiques-tigres en émettant du CO_2. Mais de tels dispositifs n'ont pas apporté de preuves scientifiques de leur efficacité.

La quête d'une super-lavande

Il faut sauver la lavande ! Le séquençage de son génome par des chercheurs chinois ouvre la voie à des variétés résistantes aux insectes comme au réchauffement climatique.

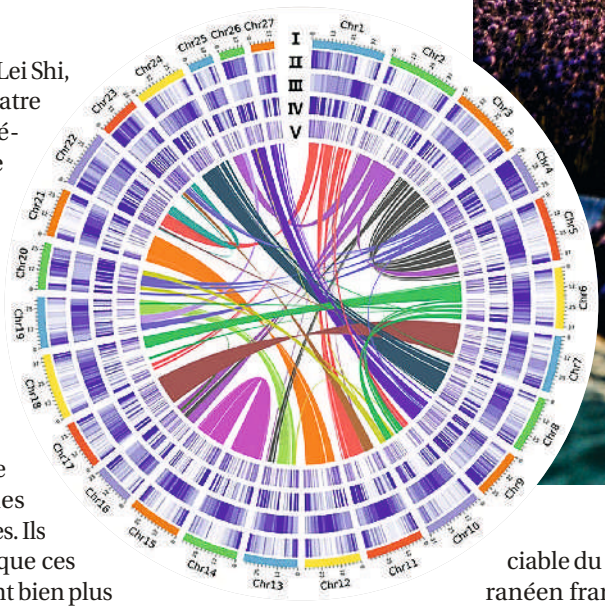


JINGRUI LI ET AL

La lavande, *« l'âme de la Provence »* écrivait Jean Giono, déroule aujourd'hui ses sillons bleus dans la vallée de la rivière Ili dans la région autonome ouïgoure du Xinjiang, dans le nord-ouest de la Chine. Cette ancienne étape de la route de la soie, située à la même latitude que la Provence, inspire dans les années 1960 les planificateurs agricoles communistes, qui y introduisent les premiers plants. Avec succès, puisque les 8000 hectares du district de Huocheng fournissent aujourd'hui 95 % de la production totale de lavande et d'huile essentielle de la Chine. Avec 12 % de parts du marché mondial, celle-ci est devenue le troisième producteur de lavande officinale (*Lavandula angustifolia*), derrière la Bulgarie (52 %) et la France (26 %). Mais elle a l'ambition d'affermir sa position, notamment en améliorant la qualité de ses huiles essentielles. Et pour cela, elle cherche à créer une « super-lavande ».

Les gènes liés aux parfums identifiés

C'est dans cette perspective que s'inscrit le travail de séquençage du génome de la lavande — en l'occurrence du cultivar (variété sélectionnée pour la culture) Jingxun 2 — que viennent de réaliser des chercheurs de l'Académie des sciences chinoise. Menée par le botaniste Lei Shi, déjà père de quatre nouvelles variétés, l'équipe s'est particulièrement intéressée aux familles de gènes liées à la biosynthèse des terpènes, ces composés organiques volatils à l'origine du parfum et des huiles essentielles. Ils ont ainsi établi que ces composés étaient bien plus divers chez la lavande que chez les autres espèces de la famille des *Lamiaceae* (menthe, origan, sauge, etc.). Cette première étape d'analyse des principes de la biosynthèse des terpènes est essentielle pour passer au deuxième épisode de la manipulation génétique en vue de produire une meilleure qualité de lavande. L'équipe chinoise a également cartographié la distribution génétique des divers composés volatils à la base de la communication plante-insecte, une communication chimique qui lui permet d'attirer les pollinisateurs et de repousser les insectes herbivores. Ce dernier volet pourrait se révéler crucial pour les cultures de lavande françaises.



Le séquençage génétique du cultivar Jingxun 2 a permis de mettre en évidence les gènes impliqués dans la production de composés organiques volatils, bien plus divers que chez les autres espèces de la famille des *Lamiaceae,* dont fait partie la lavande.

La lavande est en effet indissociable du terroir méditerranéen français, dont elle occupe naturellement les sols secs et caillouteux. À partir du XVI[e] siècle, son essence est distillée en Provence, qui fut longtemps le premier acteur du marché mondial d'huile essentielle de la plante. Actuellement, quelque 22 000 hectares de lavande et de l'hybride lavandin sont cultivés dans le sud-est de la France. Mais depuis plusieurs décennies, leur production décline, les champs provençaux souffrant de la maladie du dépérissement. Celle-ci est provoquée par le stolbur, un phytoplasme (bactérie) transmis par les cicadelles, des insectes piqueurs-suceurs vivant notamment aux côtés de la lavande. Le plant infecté finit par dessécher. Plus grave : la lavande française est doublement menacée

XINHUA/ZHAO GE VIA AFP

Située à la même latitude que la Provence, la région autonome ouïgoure du Xinjiang est la principale zone de production de lavande en Chine, avec 8000 hectares cultivés.

par le changement climatique. *« Les insectes qui véhiculent le stolbur ont en effet un cycle de développement de plus en plus court,* remarque Stéphane Herbette, botaniste et physiologiste à l'université Clermont Auvergne. *Plus cet insecte prolifère, plus la lavande dépérit. Certaines années, un quart des arbustes meurt. Et l'augmentation des sécheresses à venir fait craindre encore plus de mortalité.* » Chez les lavandiculteurs, la menace est prise au sérieux. D'autant plus que lorsqu'un plant s'éteint, sa production en fleurs est perdue pour plusieurs années, jusqu'à ce que la parcelle entière soit mécaniquement replantée… *« Nous n'avons aucun moyen de lutte directe contre les cicadelles,* constate Stéphane Herbette. *Il faudrait pouvoir utiliser des insecticides, mais cela tuerait aussi les abeilles, qui produisent le miel de lavande. L'une des solutions serait d'améliorer la plante pour obtenir une variété résistante.* »

D'où l'intérêt des chercheurs français pour le séquençage chinois du génome. *« Ce travail offre le début de la solution, mais ce n'est pas la solution,* tempère toutefois Stéphane Herbette. *Ce génome ne nous dit pas quels gènes, ou plutôt quelles combinaisons de gènes permettent de répondre à un problème.* »

Chargé de trouver des solutions par le ministère de l'Agriculture, l'Institut technique interprofessionnel des plantes à parfum, médicinales, aromatiques et industrielles (Iteipmai) a donc choisi d'orienter ses recherches vers des outils plus appliqués à travers Genolavande, un programme de création d'une variété résistante de lavande. Depuis 2018, les chercheurs disposent ainsi de nouveaux outils moléculaires, qui permettent d'identifier les marqueurs associés au rendement et à la qualité de l'huile ▸

S. HERBETTE

« Une des solutions est d'améliorer les plantes pour les rendre résistantes aux insectes porteurs de bactéries »

Stéphane Herbette, botaniste et physiologiste, maître de conférences à l'université de Clermont-Auvergne

essentielle, à la résistance bactérienne et à la sécheresse en vue de créer un cultivar superproductif et résistant. En juin, ils ont également dévoilé une carte génétique de référence pour la lavande. « *Cela permettra de confronter nos résultats avec ceux des Chinois,* explique Guillaume Fremondière, responsable de station d'expérimentation à l'Iteipmai. *Nous allons comparer le phénotype (ensemble des traits observables d'un organisme) avec le génotype (informations génétiques d'un individu) des plants de lavande pour associer leurs caractères d'intérêts.* »

THOMAS COSTES/CRIEPPAM

Un couvert végétal (ici, des céréales) entre les rangs de lavandin (une lavande hybride) permet de diminuer de 50 % le dépérissement des plants dû la cicadelle, vectrice de maladies, dans les parcelles testées.

Un obstacle physique et visuel contre l'invasion

En attendant de créer ainsi une super-lavande résistante au stolbur et à la sécheresse, les lavandiculteurs composent avec l'ennemi. « *L'insecte a besoin d'espaces ouverts pour pondre dans le sol,* explique Stéphane Herbette. *En incorporant un couvert herbeux entre les lignes de lavande, cela ralentit la progression de l'insecte.* » Ces rangs d'herbes créent à la fois un obstacle physique et un obstacle visuel pour la cicadelle qui vole à ras de terre. « *Cet insecte est attiré par les sols chauds* », souligne Éric Chaisse, directeur du Centre régionalisé interprofessionnel d'expérimentation en plantes à parfum, aromatiques et médicinales (Crieppam). *En trois à quatre ans de tests, on observe déjà 50 % de moins de dépérissements dans les champs de lavande.* » Ces couverts végétaux sont maintenus environ cinq ans dans les interlignes, ce qui permet également de refroidir les sols. Plus froids, ils attirent moins les cicadelles et restent également vivants toute l'année, quand les sols nus sont d'ordinaire stérilisés par les températures estivales. « *L'augmentation de la biodiversité des sols sous couvert végétal implique aussi une augmentation des prédateurs des cicadelles (coccinelles, araignées, carabes, etc.),* indique Éric Chaisse. *Cela fait dix ans que nous testons différents couverts végétaux. Cette année, 4 tonnes de semences de graminées, crucifères et légumineuses ont été achetées pour vérifier leur efficacité.* »

Mais l'appétit en eau de ces interlignes herbeux inquiète. Aussi, afin d'éviter qu'elles n'entrent en concurrence avec la lavande, elles sont couchées à la fin du printemps à l'aide de rouleaux mécaniques, de manière que la plante bénéficie de toute l'eau présente dans le sol. « *L'inquiétude quant à la survie de la lavande est forte,* insiste Stéphane Herbette. *Cette plante est cultivée dans des terrains arides, chauds l'été et froids l'hiver, à l'instar de l'emblématique plateau de Valensole, dans les Alpes-de-Haute-Provence. Si la lavande disparaît, il n'y aura pas d'autre culture possible.* » La super-lavande est attendue avec impatience. ■

Sylvie Rouat @srouat1

UTILISATION

Parfum, médicament… parfois dangereux

Depuis plus de 2500 ans, les différentes espèces de lavande sont utilisées comme parfum, médicament ou antiparasitaire, sous forme d'huile essentielle. Des études pharmaceutiques ont confirmé nombre des propriétés qui lui étaient déjà allouées. La seule lavande officinale, ou lavande vraie (*Lavandula angustifolia*), a ainsi démontré ses propriétés insecticides (contre les poux notamment), antibactérienne (*Escherichia coli*, staphylocoque doré, salmonelles) et antifongique. Elle a également des pouvoirs antalgiques, anti-inflammatoires, anti-stress et calmants, y compris sur les chevaux. Mais son utilisation n'est pas sans danger. Deux études publiées en 2018 et 2019 font état d'enfants — filles et garçons — âgés de 3 ans et plus présentant une croissance anormale des seins liée à l'exposition à des produits parfumés contenant de l'huile de lavande : certains composants des huiles essentielles imitent en effet les œstrogènes et bloquent la testostérone.

DU 14 AU 22 MAI 2022

PARIS ✈ REYKJAVIK
TROMSO ✈ PARIS

Jour	Escales	Arrivée	Départ
14/05	Paris / Reykjavik *(Islande)* ✈	Nuit à quai	
15/05	Reykjavik *(Islande)*	Appareillage 17h00	
16/05	Isafjordur *(Islande)*	08h30	18h00
17/05	Husavik *(Islande)* ⚓	08h30	17h30
18/05	Seydisfjordur *(Islande)*	08h00	12h00
19/05	En mer		
20/05	Rorvik *(Norvège)*	16h00	20h00
21/05	Leknes / Îles Lofoten *(Norvège)* ⚓	13h00	19h00
22/05	Tromso *(Norvège)* / Paris ✈	09h30	-

⚓ À l'ancre - Débarquement en chaloupe si les conditions météorologiques le permettent.

À partir de 2.390 €

par personne en **cabine intérieure, catégorie 2** occupée par **2 personnes.**

(vols internationaux inclus, **hors excursions optionnelles et pourboires facultatifs**)

Ce prix comprend :

- La croisière à bord du M/s Hamburg en pension complète du dîner du 1er jour au petit déjeuner du dernier jour, boissons aux repas incluses.
- Les vols (réguliers ou affrétés) Paris - Reykjavik et Tromso-Paris.
- La présence (* sauf raison de force majeure) pendant toute la croisière, et les conférences, des scientifiques invités par Sciences et Avenir.
- Des animations de qualité chaque soir variétés, soirée classique etc.).
- L'équipe d'encadrement Plein Cap.
- Les assurances assistance rapatriement.

ISLANDE, LE FEU, LA GLACE, LES HOMMES

CAROLE CHATELAIN
Directrice de la rédaction de *Sciences et Avenir - La Recherche*

RÊVE DE GLACE. Les noms, à eux seuls, font rêver : Isafjordur, Husavik, Osvor... Et même celui de la capitale, Reykjavik, qui sonne comme une stalactite de glace. Avec l'Islande, mot francisé de l'*Ísland* (terre de glace en islandais), surgissent des images de fjords, de baleines, de geysers. Le pays souffle d'emblée le froid, le chaud et l'envie d'en savoir plus. Cela tombe bien. A bord du Ms. Hamburg, aux côtés d'Yves Coppens, préhistorien-parrain des Croisières du Savoir, embarqueront trois connaisseurs des trésors que recèlent ces lieux. Les fameuses sagas islandaises, que décryptera la docteure en études nordiques Gaëlle Reneteaud. Mais aussi l'océan si froid et si riche en poissons et mammifères marins, sans secret pour Gilles Boeuf, ancien directeur du Museum et ami de Sciences et Avenir. Quant aux volcans sous la glace, le Pr Jacques-Marie Bardintzeff nous en dressera un portrait saisissant. Et nous n'oublierons pas la découverte au retour par la Norvège des îles Lofoten et du ravissant port de Rorvik. Vite, embarquons !

ILS SERONT AVEC VOUS PENDANT TOUTE LA CROISIÈRE *

YVES COPPENS

Paléontologue, spécialiste mondialement connu de l'évolution humaine, académicien et professeur au Collège de France. Il nous parlera du peuplement des îles que nous allons accoster, de la préhistoire aux moines irlandais et aux Vikings. Dernier ouvrage paru : « *Origines de l'Homme, origines d'un homme* ».

GAËLLE RENETEAUD

Docteur en Etudes Nordiques de l'Université Paris-Sorbonne, spécialiste de l'Islande. Elle nous dira ce que sont les *sagas* et leur place dans la culture islandaise et nous racontera le regard porté sur l'Islande dans la cartographie ancienne et les premiers récits de voyage. Dernier ouvrage paru : « *Le(s) Nord de Xavier Marmier* ».

GILLES BOEUF

Biologiste, spécialiste de la biodiversité marine et terrestre, professeur à Sorbonne-Université. il nous expliquera l'extraordinaire richesse du monde marin, ainsi que l'importance vitale pour l'humanité, mais aussi l'extrême fragilité, de la biodiversité. Dernier ouvrage paru : « *La biodiversité, de l'océan à la cité* ».

JACQUES-MARIE BARDINTZEFF

Volcanologue professeur à l'Université Paris-Sud Orsay. Il nous présentera les volcans d'Islande et leurs éruptions, les geysers et la géothermie, les paysages étonnants. Il nous expliquera comment des volcans prennent naissance au fond des océans puis émergent en îles. Dernier ouvrage paru : « *Volcanologue* ».

Avec

OLIVIER LASCAR

Rédacteur en chef du pôle digital de Sciences et Avenir

Pendant la croisière l'œil de Lascar restera ouvert, pertinent et... impertinent !

Une occasion exceptionnelle de larguer les amarres pour vivre neuf belles journées d'évasion entre ciel et terre. Des journées denses, rythmées par les nombreux plaisirs de la vie à bord, de passionnantes conférences et des rencontres avec des compagnons de voyage partageant les mêmes motivations et les mêmes curiosités.
Et bien sûr les excursions à la découverte de ces terres septentrionales aux somptueux paysages dont vous garderez un souvenir inoubliable !

RENSEIGNEMENTS ET RÉSERVATIONS : **PLEIN CAP « Croisière du Savoir »**

CROISIÈRES PLEIN CAP : **251 ROUTE DE LA COLLE - 06270 VILLENEUVE-LOUBET** - **info@plein-cap.com** - Tél. **04 93 20 21 20**

Programme complet, renseignements et inscriptions sur le site web : croisiere-du-savoir.fr

IM006120053

CHANTIER DE L'ATLANTIQUE

Le « Silenseas », paquebot de 190 m qui devrait être mis à l'eau en 2025, sera propulsé par 4350 m² de voiles constituées de panneaux en composite de fibre de verre et résine polyester renforcés de lattes de carbone.

Contre la pollution, les croisières hissent les voiles

Un futur paquebot hybride sera équipé d'un dispositif innovant de voiles rigides nommées Solid Sails. Objectif : réduire de 50 % ses émissions de gaz à effet de serre.

Un mât de 38 mètres de haut équipé d'une voile rigide de 550 m² se dresse cet été sur le site des Chantiers de l'Atlantique à Saint-Nazaire (Loire-Atlantique). Ce dispositif, qui affrontera ensuite les tempêtes océaniques durant tout l'hiver, est destiné à la mise au point d'un mode de propulsion moins polluant pour les paquebots. Il équipera le futur navire hybride *Silenseas*, qui sera le plus grand paquebot à voile du monde.

Apparues à la fin du XIXe siècle, les croisières ont transporté en 2019 quelque 30 millions de personnes à bord de véritables stations balnéaires flottantes. Un tourisme de masse, qui s'accompagne d'une pollution inquiétante : une étude produite par l'ONG Transport et Environnement montre que les 47 navires du seul groupe Carnival ont émis en 2017 dix fois plus d'oxyde de soufre que les 260 millions de voitures du continent européen ! « *Pour que les croisières restent un mode de tourisme économique, il faut construire des bateaux de grande taille*, explique Laurent Castaing, directeur général des Chantiers de l'Atlantique. *Mais pour notre projet, cela implique d'utiliser des voiles de plus de 1000 m². Or aucun tissu ne supporterait une telle charge.* » D'où l'idée de développer des voiles rigides. Baptisées Solid Sails, elles sont constituées de panneaux en composite de fibre de verre et résine polyester entourés de lattes en carbone. Les premiers tests réalisés sur un monocoque de 8 mètres, puis sur le voilier du navigateur Jean Le Cam ont été concluants. L'étape suivante a consisté à éprouver, en 2019, la solidité d'un prototype de 250 m² sur le paquebot *Le Ponant*

lors de deux traversées de l'Atlantique. Cette même année, un mât de 15 mètres de haut et sa voile rigide de 50 m² ont été érigés sur la digue du port de Pornichet afin d'étudier leur comportement et leur résistance. Les mesures de déformation et de tension de la voile ont permis aux chercheurs de l'École nationale supérieure de techniques avancées (Ensta Bretagne) de réaliser un premier modèle numérique de prédiction des performances du système en vue d'optimiser la géométrie des panneaux.

La voile rigide fonctionne comme la voile classique

« En mode propulsif, cette voile rigide fonctionne comme une voile classique, explique Nicolas Abiven, ingénieur en charge du développement de Solid Sails. *Quand elle prend le vent, elle se déforme légèrement et peut former un creux de 6 à 7 %. Si on veut affaler, en cas de coup de vent par exemple, les voiles se plient en accordéon, les deux panneaux du bas se pliant en premier pendant que le reste de la voile demeure droit, sans "faseyer" [battre au vent].* » Cette manœuvre automatique est conduite par la gravité. Le principe de la navigation à la voile étant de capter la force du vent et de la transmettre au bateau par le gréement, il a aussi fallu développer un système autoporteur, capable de tourner à 360° autour du mât carbone pour s'adapter à la direction du vent. Ce mât est même inclinable à 70 degrés afin de passer sous les ponts, celui du canal de Panama ou le Verrazano à l'entrée de la baie de New York, par exemple. Le mât démonstrateur de 38 mètres, qui laissera sa place en 2022 à un prototype à taille réelle de 95 mètres de haut, permettra aux ingénieurs de l'Ensta d'enregistrer des paramètres complémentaires comme le vieillissement aux UV et l'endurance de la voile. *« Un dispositif colossal, mais nécessaire pour vérifier son bon fonctionnement, souligne Laurent Castaing. Nous visons le marché des paquebots à voile de 200 mètres de long. Mais ce type de voile pourrait aussi être utilisé sur d'autres bateaux, comme des porte-conteneurs. Nous sommes au début d'une grande aventure.* » Selon ses promoteurs, ce système de propulsion réduirait de 50 % les émissions de gaz à effet de serre d'un paquebot. Premier navire à en être doté, le *Silenseas* doit être mis à l'eau en 2025. ■

Sylvie Rouat @srouat1

TEXTILE

Un voilier recyclable en fibre de lin

Pour réduire l'impact environnemental de la construction d'un nouveau bateau, le navigateur Roland Jourdain annonce vouloir utiliser des fibres de lin pour son futur catamaran de 18 mètres, baptisé *We Explore*. Ce matériau remplacera les fibres de verre et de carbone, dont la production nécessite beaucoup d'énergie et qui ne sont pas recyclables. Le lin est produit et transformé en France, soit un circuit court. Il est traité par la société Kaïros Environnement sous la forme d'un matériau biocomposite qui sera moulé sur le chantier Outremer à La Grande-Motte (Hérault). Le composite de lin aurait ainsi des qualités de rigidité et d'absorption des vibrations supérieures à la fibre de verre. Il a de plus l'avantage de stocker du CO_2. Le *We Explore* doit être mis à l'eau à l'été 2022.

La Recherche
Climat

PAR CHRISTOPHE CASSOU *
CHRONIQUE COÉCRITE AVEC CÉLINE GUIVARCH **

La neutralité du climatologue est une illusion

Les sciences du climat sont des sciences impliquées, au sens de l'éthicien Léo Coutellec, des sciences *« immergées dans un paysage de valeurs et d'intentions, portées par des collectifs d'humains »*. Pour preuve, les conclusions des rapports du Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat (Giec) se retrouvent sur les pancartes des marches citoyennes pour le climat mais aussi sur les bancs de l'Assemblée nationale, et même dans les tribunaux de nombreux pays. Face aux risques accrus de déstabilisation des sociétés humaines et des écosystèmes naturels dus au changement climatique, la neutralité du chercheur est un leurre. Diffuser la connaissance et participer à des actions de médiation scientifique sont des transferts de pouvoir vers la société civile. Auprès des acteurs qui relaient les signaux d'alarme face au danger imminent, c'est un soutien implicite ; auprès de ceux qui entretiennent les retards dans l'action, c'est un combat implicite. Et rester dans son laboratoire est une position qui agit en faveur du *statu quo*. Le mythe de la neutralité tombe, sans remettre en cause les devoirs d'objectivité et d'impartialité du chercheur. Les sciences du climat n'ont pas suffi à la prise de conscience de la dégradation de l'environnement et ont eu besoin de la société civile pour amplifier les signaux d'alarme établis à partir d'évaluation scientifique rigoureuse. L'inquiétude grandit aujourd'hui face à l'attitude de gouvernements qui, à des fins d'intimidation, tentent de criminaliser les « actions climatiques » portées par des relais militants. Dans ce cadre aux enjeux démocratiques, la place du chercheur va se poser de manière encore plus aiguë. ■

> « Diffuser la connaissance et participer à des actions de médiation scientifique sont des transferts de pouvoir vers la société civile »

* Directeur de recherche au CNRS, auteur principal du 6e rapport du Giec (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat), groupe 1.
** Directrice de recherche à l'École des Ponts-Paris-Tech, auteure principale du 6e rapport du Giec, groupe 3, elle est par ailleurs lauréate du prestigieux prix Irène Joliot-Curie de la jeune femme scientifique.

UNIVERSCIENCE

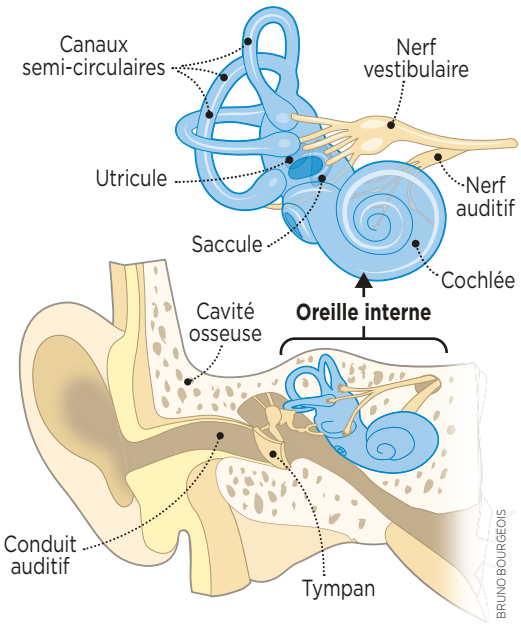
Comment se libérer des vertiges

Reportage à l'Hôpital européen de Marseille, où un service spécialisé dans les vertiges associe une équipe d'ORL et des chercheurs en neurosciences cognitives. Objectif : mieux comprendre les mécanismes à l'origine de ce dysfonctionnement de l'oreille interne.

Par Sylvie Riou-Milliot - Photos : Jean-Marie Huron / Signatures pour Sciences et Avenir - La Recherche

Vertige, du latin *vertigo*, mouvement tournant. Quand « un » vertige — il en existe plus de 150 types différents — survient, la personne qui en est atteinte se croit alors animée d'un mouvement circulaire. Une illusion certes, mais pour elle, tout tourne : elle-même et son environnement. Ceux qui ont déjà vécu cette expérience savent que cela n'a rien à voir avec un simple étourdissement. À cette sensation désagréable, peut s'ajouter l'impossibilité de se tenir debout et de se mouvoir. Surviennent aussi parfois des mouvements rapides involontaires anormaux des globes oculaires (nystagmus). Sans oublier de fréquentes nausées et vomissements ou une baisse d'audition. Pour certains, cet épisode sera bref et ne se reproduira jamais. Pour d'autres, ce sera au contraire le début d'un parcours souvent difficile, où l'errance diagnostique n'est pas rare et l'anxiété toujours présente.

Paradoxe, face à ce symptôme fréquent — 300 000 consultations par semaine soit 15 millions par an, 1 % des urgences hospitalières —, rares sont les services vraiment spécialisés, à peine une quinzaine en France*. L'un d'eux se trouve à Marseille, à l'Hôpital européen où *Sciences et Avenir* s'est rendu. Ici, au rez-de-chaussée, le Centre des vertiges, avec une équipe de cinq personnes, dont deux ORL (oto-rhino-laryngologiste), assure quotidiennement des consultations, souvent longues et complexes. Un travail qui s'effectue en liaison avec des neuroscientifiques du Laboratoire de neurosciences cognitives (LNC) du CNRS et d'Aix-Marseille Université, dont l'équipe Physiopathologie et thérapie des désordres vestibulaires dirigée par Christian Chabbert. Car si, en pratique, ce sont toujours les ORL qui prennent en charge les patients, il reste essentiel, en amont, d'étudier les mécanismes à l'origine des troubles de l'équilibre et du vertige, ceux-ci restant mal élucidés.



L'oreille interne est située dans un os du crâne. Elle est composée de deux parties majeures : la cochlée, organe de l'audition, et le système vestibulaire, qui comprend le saccule, l'utricule et 3 canaux semi-circulaires. Cet ensemble recueille les informations sur la position et les mouvements de la tête. Le cerveau utilise ces informations pour aider à garder l'équilibre.

Il s'agit d'un symptôme et non d'une maladie

Heureusement, les outils diagnostiques *(voir la liste ci-contre)* se perfectionnent régulièrement et de nouvelles approches de rééducation ne cessent d'être proposées *(lire l'encadré p. 88)*. *« Le vertige est un symptôme et non une maladie »*, avertit d'emblée la Dr Maya Elziere, responsable de la consultation. Pour comprendre, il faut réviser ses notions d'anatomie et se rapprocher d'une bien étrange structure, l'oreille interne *(voir l'infographie ci-contre)*. Elle est très profondément située dans un os du crâne, le rocher, *« que personne n'a jamais vu* in vivo », précise le Dr Michael Eliezer, neuroradiologue à l'hôpital Lariboisière (Paris). Avec son équipe, il travaille au développement de nouvelles méthodes d'imagerie *(lire l'encadré p. 89)*. Appelée aussi labyrinthe, l'oreille interne est constituée de la cochlée, l'organe de l'audition, et du vestibule. Celui-ci sert à gérer l'équilibre, mais n'est pas le seul dédié à cette tâche. Il faut aussi compter sur la vision et les capteurs de sensibilité et

6 EXAMENS POUR UN DIAGNOSTIC

Le video head impulse test (VHIT)

Le patient porte des lunettes dotées d'une caméra, qui permet l'enregistrement des mouvements des globes oculaires, et d'un gyroscope, qui mesure la vitesse angulaire de la tête. Il doit fixer du regard une cible et l'ORL exerce de petites impulsions sur la tête pour évaluer la fonction de chaque canal semi-circulaire *(voir l'infographie p. 86)*.

La verticale visuelle subjective (VVS)

On demande au patient de montrer à quel moment il perçoit une barre lumineuse verticale et on calcule ensuite l'angle entre la ligne réelle et celle perçue.

Le fauteuil TRV

Le patient assis et sanglé peut être mobilisé dans différents plans de l'espace. objectif : repositionner des cristaux déplacés dans les canaux semi-circulaires.

Les potentiels évoqués otolithiques

Un son dans les oreilles permet de stimuler mécaniquement l'organe de l'équilibre qui, s'il est fonctionnel, modifiera la contracture de certains muscles (du cou et des yeux) enregistrée par des électrodes.

La vidéonystagmographie (VNG) :

Différentes stimulations caloriques (air et eau chauds ou froids) envoyées dans les conduits auditifs permettent de tracer les mouvements oculaires et d'analyser les réactions de l'oreille interne.

La posturographie

Ce test étudie les capacités d'équilibre d'une personne à partir d'une photographie de la posture du patient à un instant précis.

THÉRAPIE

Les secrets des « chasseurs de vertiges » pour soigner les malades

La rééducation sensorielle, basée sur des exercices ou des manipulations, utilise la plasticité du système nerveux pour lui apprendre à développer de nouvelles stratégies afin que le patient retrouve l'équilibre.

Casque de réalité virtuelle et fauteuil rotatoire sont utilisés dans les exercices de rééducation vestibulaire.

Au moment de la crise de vertiges et dans les jours qui suivent, il faut agir sur les nausées et les vomissements, en association avec la prise des classiques molécules antivertiges (acétylleucine, bétahistine) dont, curieusement, les mécanismes d'action sont, après des décennies de prescription, encore mal compris. Mais souvent cela ne suffit pas. Il faut alors avoir recours à des séances de kinésithérapie vestibulaire (KV). Deux lettres qui désignent une rééducation ni musculaire ni articulaire, mais sensorielle. Il s'agit d'un apprentissage adapté à chaque cas en fonction de la cause du vertige et basé sur la plasticité du système nerveux central, c'est-à-dire sur la capacité du cerveau à développer de nouvelles stratégies. *« Le système nerveux central apprend en agissant »*, détaille Philippe Combalbert, kinésithérapeute vestibulaire (Marseille), surnommé par certains de ses patients le *« chasseur de vertiges »*. En effet, le thérapeute comme l'ORL peuvent parfois être amenés au cours des séances à provoquer le vertige pour mieux en saisir le mécanisme précis. Qu'il s'agisse d'exercices ou de manipulations, les séances de KV, toujours réalisées en présence du rééducateur, sont très variées : travail de la posture, manœuvres de mobilisation de la tête et du corps, le patient étant allongé sur une table d'examen ou sur un fauteuil rotatoire, exercices d'équilibre, recours à un casque de réalité virtuelle (avec immersion visuelle de déplacements en voiture, train, bateau…) pour traiter par exemple le mal des transports (cinétose). Dans d'autres cas, il faudra avoir recours au stimulateur optocinétique (boule à facettes mobile envoyant des taches lumineuses sur les murs d'une petite pièce sombre) ou bien à une plate-forme dite de proprioception, deux outils permettant de travailler respectivement la perturbation de la vision et l'équilibre. *« Cette rééducation, issue de la rencontre de compétences de médecins spécialistes et de chercheurs, consiste à créer de nouveaux processus fonctionnels selon un apprentissage positif nécessitant la participation motivée du patient »*, insiste le spécialiste. Dans tous les cas, écoute, bienveillance, empathie et réassurance sont toujours au rendez-vous. Car souvent les patients ont un vécu traumatique de leurs épisodes de vertige et le réapprentissage d'une vie « normale » n'est pas simple. Pour cela, *« il faut à la fois les sortir de leur zone de confort tout en les accompagnant et aussi prévoir de les autonomiser afin que la rééducation ne s'éternise pas »*, conclut le kinésithérapeute.

de pression dits proprioceptifs, situés eux au niveau de la plante des pieds, en lien avec les muscles du corps. Le cerveau fait la synthèse de toutes les informations pour rendre compte de la position du corps dans l'espace. *« Mais dans certaines circonstances, les messages peuvent être perçus comme contradictoires par le cerveau et c'est là que le vertige apparaît »*, explique Maya Elziere.

« Dans certaines circonstances, les messages perçus comme contradictoires par le cerveau peuvent entraîner des vertiges »

Maya Elziere, médecin ORL, responsable de la consultation du centre des vertiges de l'Hôpital européen de Marseille

Trois principaux types de vertiges ont été identifiés

Les vertiges les plus fréquents, dits périphériques (en opposition aux centraux consécutifs à une tumeur ou un accident vasculaire cérébral) sont en lien avec une altération du fonctionnement ou une lésion des organes sensoriels vestibulaires de l'oreille interne. *« En pratique, il y a trois principaux vertiges*, détaille Maya Elziere. *Celui dit positionnel paroxystique bénin (VPPB), la maladie de Ménière et la névrite/labyrinthite vestibulaire.* » Le premier, le plus souvent bref, semble dû à un déplacement des cristaux de l'oreille interne (les otolithes) par exemple à la suite d'un choc. Le second, qui tend à se répéter, serait en lien avec une hyperpression des liquides de l'oreille interne. Et le troisième, qui peut durer plusieurs jours en continu, serait en lien avec une infection virale.

Comment déterminer l'origine d'un vertige ? *« Toujours avec un interrogatoire minutieux et surtout un examen clinique otoneurologique très précis »*, résume Maya Elziere. Et pour cela, *« notre palette d'outils diagnostiques ne cesse de s'allonger »*, note-t-elle. Longtemps limités aux seuls tests dits caloriques — l'envoi d'un courant d'air ou d'eau, chaud ou froid, dans le conduit auditif pour mesurer les secousses des yeux — et aux épreuves rotatoires sur fauteuil, ces outils se sont incontestablement perfectionnés. Exemple avec la vidéonystagmoscopie, *« le stéthoscope de l'ORL »* pour Maya Elziere. Un casque doté d'une caméra infrarouge est placé devant les yeux du patient qui se retrouve alors plongé dans l'obscurité. La consigne lui est donnée de garder les yeux ouverts, et sur un écran le médecin va pouvoir visualiser et mesurer les mouvements des yeux. Autre nouveauté, Le Video Head Impulse Test (VHIT). En pratique, l'ORL exerce des impulsions sur la tête du patient équipé d'un autre type de masque, mesurant ici la vitesse de déplacement de la tête et des mouvements des yeux. *« Cela permet de détecter un déficit vestibulaire périphérique dans le plan horizontal et dans le plan vertical »*, précise Maya Elziere. Autant d'informations qui pourront orienter ensuite sur les différentes manœuvres de torsion et de rotation à faire effectuer aux patients, soit pour trouver l'origine des vertiges, soit pour les traiter.

Des pistes de recherche autour du venin d'abeilles

Pourtant, aucun traitement médicamenteux spécifique des vertiges n'a à ce jour été mis au point. Et là aussi, le LNC de Marseille, en lien avec la start-up Vertidag, cofondée par Christian Chabbert, explore des pistes de recherche. Comme les travaux de Brahim Tighilet, du LNC, qui ont révélé des mécanismes de formation de nouveaux neurones (neurogenèse) qui pourraient être stimulés par des molécules dérivées du venin d'abeille. D'autres travaux plus étonnants sont aussi en cours. Ainsi, Christophe Lopez, également au LNC, a mené une étude auprès de 200 personnes sur une sensation étrange ressentie par certains patients lors des crises : celle de « sortie » de leur corps (*Out of Body Experience*, OBE, en anglais), soit la sensation de ne plus être soi, déconnexion de son enveloppe corporelle… *« Ici, aucune composante mystique*, précise le neuroscientifique, *mais l'unité ressentie entre le soi et le corps est pour ces personnes temporairement interrompue et il nous reste à en comprendre les raisons.* » Le vertige n'est pas près de cesser d'être un sujet d'étude. ■

* Paris (hôpital Lariboisière, centre Falguière), Suresnes, Lyon, Bordeaux, Reims, Marseille, Montpellier, Strasbourg, Toulouse, Clermont-Ferrand, Grenoble, Lille, Caen.

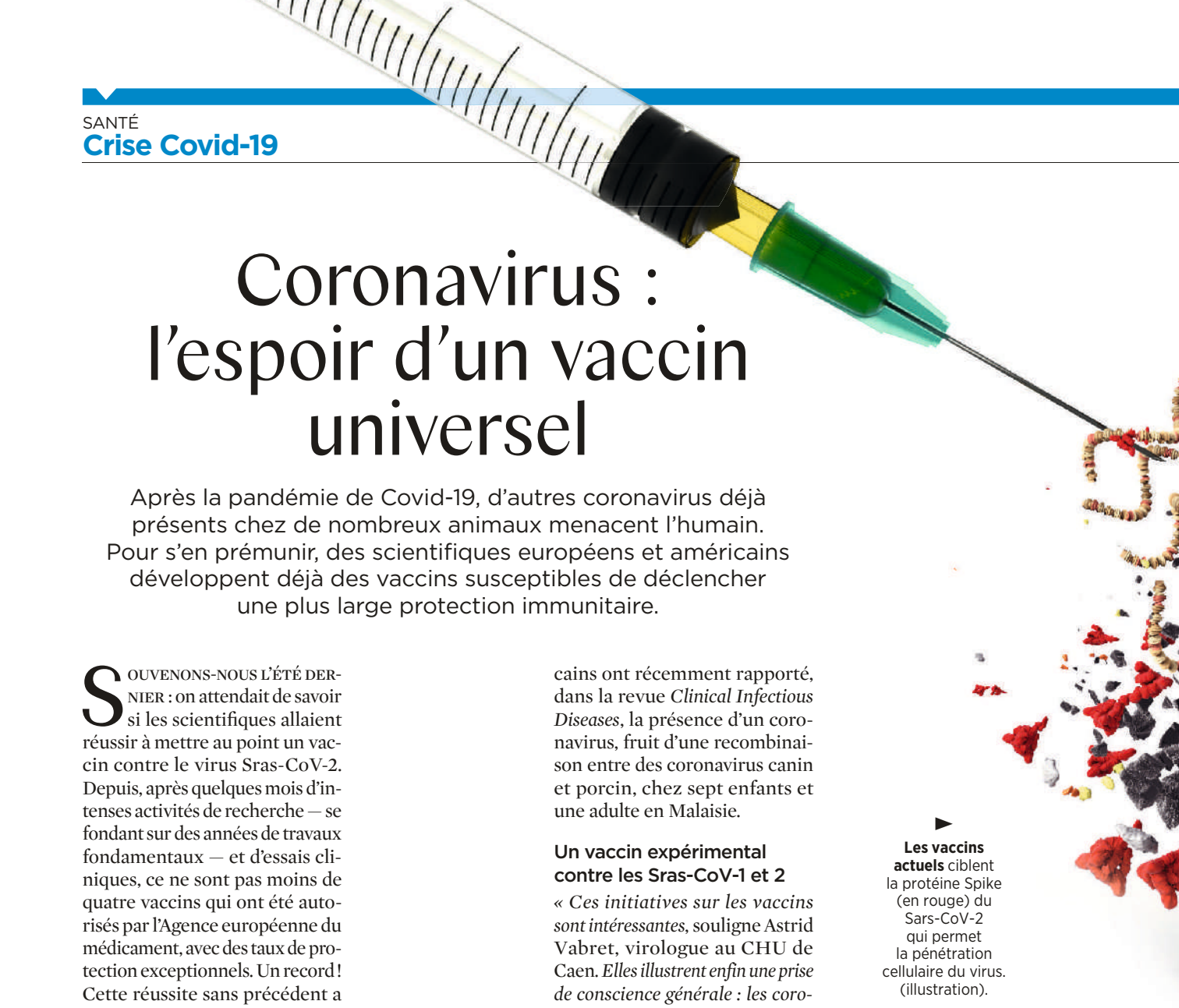
IMAGERIE

Au cœur du labyrinthe osseux de l'oreille interne

Mieux voir l'oreille interne : un rêve en passe de devenir réalité. Comment ? Avec l'imagerie par résonance magnétique nucléaire (IRMn) utilisant un produit de contraste particulier, le gadolinium. *« Il possède la particularité de diffuser progressivement en quelques heures vers un compartiment bien précis contenu dans le labyrinthe osseux de l'oreille interne dit périlymphatique et les images obtenues sont particulièrement contrastées »*, précise Michael Eliezer, radiologue à l'hôpital Lariboisière (Paris). Initialement réservé aux seuls patients atteints de la maladie de Ménière, ce protocole, qui visualise le labyrinthe quatre heures après l'injection de gadolinium, permet une analyse fine de la région, par exemple avant une chirurgie, recours ultime dans les cas les plus sévères.

Coronavirus : l'espoir d'un vaccin universel

Après la pandémie de Covid-19, d'autres coronavirus déjà présents chez de nombreux animaux menacent l'humain. Pour s'en prémunir, des scientifiques européens et américains développent déjà des vaccins susceptibles de déclencher une plus large protection immunitaire.



Les vaccins actuels ciblent la protéine Spike (en rouge) du Sars-CoV-2 qui permet la pénétration cellulaire du virus. (illustration).

Souvenons-nous l'été dernier : on attendait de savoir si les scientifiques allaient réussir à mettre au point un vaccin contre le virus Sras-CoV-2. Depuis, après quelques mois d'intenses activités de recherche — se fondant sur des années de travaux fondamentaux — et d'essais cliniques, ce ne sont pas moins de quatre vaccins qui ont été autorisés par l'Agence européenne du médicament, avec des taux de protection exceptionnels. Un record ! Cette réussite sans précédent a donné des ailes à certains chercheurs et laboratoires : leur rêve, concevoir un vaccin « universel », susceptible d'immuniser l'organisme contre tous les coronavirus et notamment ceux qui n'ont pas encore infecté l'humain. Car si l'on sait que sept coronavirus circulent parmi notre espèce, ils font en réalité partie d'une très grande famille présente chez de nombreux animaux. Depuis lesquelles une nouvelle émergence ne manquera pas de se produire. D'ailleurs, des biologistes américains ont récemment rapporté, dans la revue *Clinical Infectious Diseases*, la présence d'un coronavirus, fruit d'une recombinaison entre des coronavirus canin et porcin, chez sept enfants et une adulte en Malaisie.

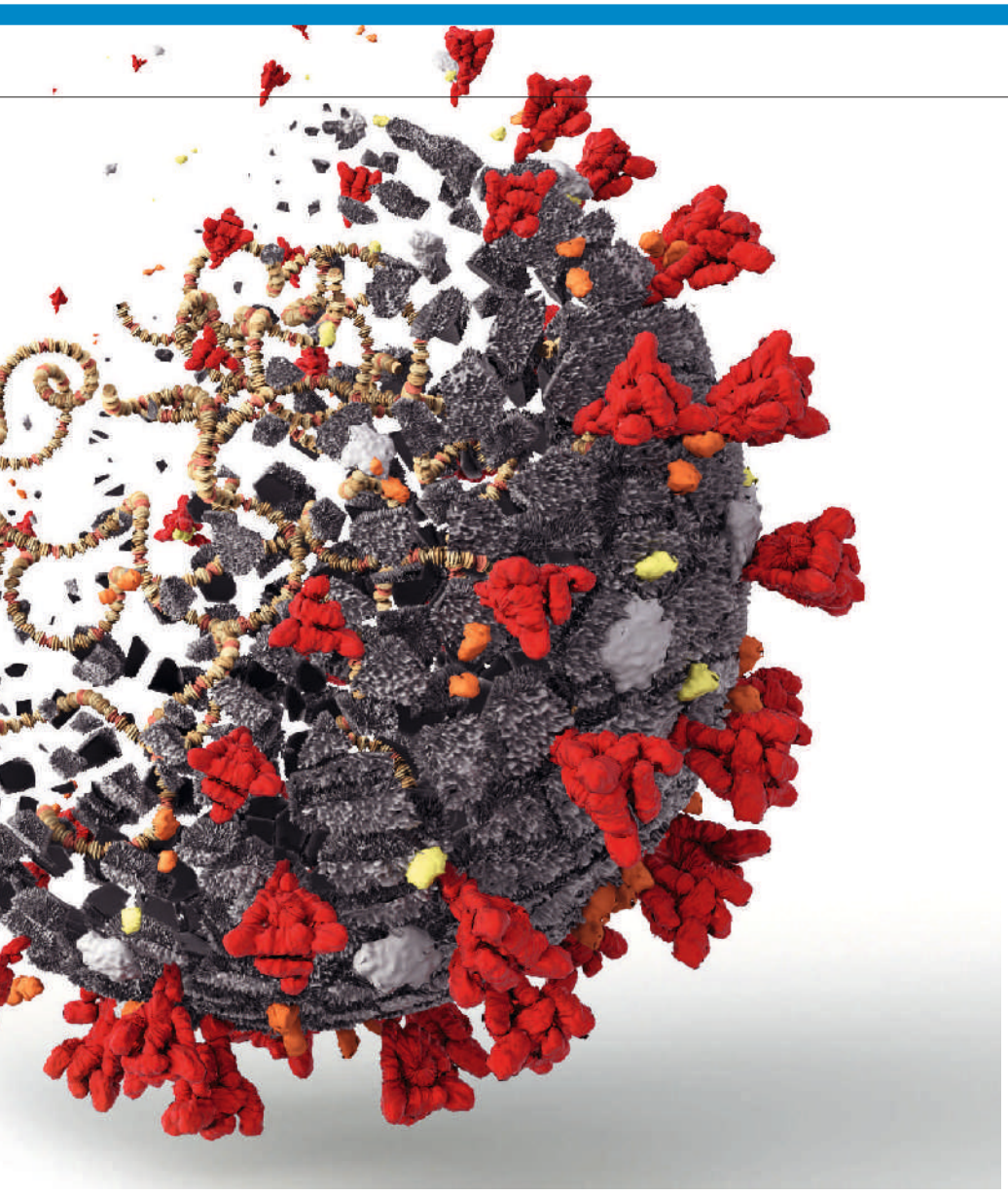
Un vaccin expérimental contre les Sras-CoV-1 et 2

« Ces initiatives sur les vaccins sont intéressantes, souligne Astrid Vabret, virologue au CHU de Caen. *Elles illustrent enfin une prise de conscience générale : les coronavirus représentent une menace sérieuse, ils ont un haut potentiel d'émergence dans la population humaine. Face aux prochains virus, on ne pourra pas gagner la bataille sans un minimum de préparation. Il est nécessaire de profiter de la mobilisation générale due à cette pandémie pour anticiper la suite. »* En mai, l'équipe de l'immunologiste américain Barton Haynes, de l'université Duke, en collaboration avec le virologue Ralph Baric, de l'université de Caroline du Nord, a publié, dans la revue *Nature*, les résultats d'une expérimentation d'un vaccin chez des macaques, qui immunise contre le Sras-CoV-2, ses variants anglais, brésilien et sud-africain, mais aussi le Sras-CoV-1 (responsable de l'épidémie de 2003), et également contre deux coronavirus présents chez les chauves-souris. Comme les vaccins utilisés aujourd'hui, leur produit contient un morceau de la protéine Spike du Sras-CoV-2, plus précisément la partie RBD (*receptor-binding domain*) qui se lie à nos cellules par le récepteur ACE2. La nouveauté réside dans l'emballage de ce morceau de protéine virale qui favorise le déclenchement de la

A. VABRET

« Il est nécessaire de profiter de la mobilisation générale pour anticiper la menace des coronavirus »

Astrid Vabret, infectiologue au CHU de Caen (Calvados)



SHUTTERSTOCK

réponse immunitaire, et semble offrir aux animaux vaccinés une protection plus large. Forts de ce résultat, les chercheurs suggèrent que leur vaccin pourrait être un vaccin « pancoronavirus », c'est-à-dire qui permettrait de lutter contre tous les coronavirus.

« *Si le résultat semble prometteur, la dénomination "pancoronavirus" est exagérée*, juge Astrid Vabret. *Leur vaccin n'immunise pas contre tous les coronavirus qu'on trouve chez l'humain. Par exemple, il ne fonctionnera pas contre le MERS-CoV responsable d'infections graves au Moyen-Orient en 2012 car celui-ci ne se lie pas à ACE2 et possède une région RBD différente. Il ne pourra pas non plus aider contre le coronavirus HKU1* [responsable de rhumes], *qui infecte les voies aériennes supérieures, car il se fixe sur nos cellules par un autre récepteur. Dans l'idéal, un vaccin "pancoronavirus" doit nous protéger contre toutes les familles de coronavirus.* »

Ces familles sont au nombre de quatre, baptisées alpha, bêta, gamma et delta — sans rapport avec les nouvelles appellations grecques des variants du Sras-CoV-2. Les coronavirus gamma et delta, principalement trouvés chez les oiseaux et les porcs *(voir l'infographie p. 92)*, ne sont pas connus pour infecter les humains, de sorte que les développeurs de vaccins leur ont prêté peu d'attention. Il y a plus d'intérêt pour les coronavirus alpha parce que deux provoquent des rhumes chez les humains (le HCov-229E et le HCoV-NL63). Mais ce sont les bêta qui attirent le plus d'efforts, en particulier les sarbécovirus : ce sous-ensemble comprend le Sras-CoV-2 et le Sras-CoV.

Combiner plusieurs morceaux de protéine Spike

Comment mettre au point un vaccin capable de protéger contre plusieurs familles de coronavirus ? Les chercheurs s'inspirent de ce qui a déjà été fait pour des vaccins contre des maladies allant de la polio au papillomavirus humain *(voir* Sciences et Avenir *n° 892, juin 2021)*. Pour augmenter l'étendue de la protection, ils contiennent la combinaison de composants provenant de multiples formes de l'agent pathogène : par exemple le vaccin contre la maladie pneumococcique contient 23 formes d'une molécule virale. Sur ce modèle, la biologiste américaine Pamela Bjorkman, du California Institute of Technology, a évalué des vaccins candidats chez la souris. Pour réaliser leur vaccin « pancoronavirus », son équipe a choisi de combiner plusieurs morceaux de protéines Spike (essentiellement la partie inférieure correspondant au RBD car elle semble moins sujette aux mutations) de différents virus : le Sras-CoV et le Sras-CoV-2, un coronavirus isolé d'un pangolin, et cinq autres de chauve-souris. Cette combinaison a été injectée à des souris. Résultat : l'équipe a rapporté dans la revue *Science* en février que les anticorps prélevés sur les souris neutralisent l'infection d'un large éventail de sarbécovirus, y compris ceux qui n'étaient pas utilisés pour fabriquer le vaccin.

D'autres groupes de recherche ont choisi une stratégie différente en ▸

utilisant d'autres régions des protéines Spike. Plutôt que de s'intéresser à la partie haute, ils se concentrent sur sa tige. C'est le cas de l'équipe de Jason McLellan, biologiste à l'université du Texas (États-Unis) qui a développé un vaccin à partir d'un morceau de la tige, la protéine S2, du virus MERS. Les expérimentations chez la souris ont montré que les anticorps produits par le vaccin se lient également au Sras-CoV et au Sras-CoV-2.

Un autre composant plus interne des coronavirus est également utilisé comme cible : la protéine N, ou nucléocapside, qui protège le génome du virus et qui semble très conservée entre différentes familles de coronavirus. Cette stratégie a été choisie par le laboratoire lyonnais Osivax, qui travaillait jusqu'ici sur un vaccin universel contre la grippe. *« La nucléocapside est conservée à plus de 89 % entre le Sras-CoV-1 apparu en 2003 et le Sras-CoV-2 actuel »*, explique Alexandre Le Vert, le fondateur du laboratoire.

Problème, cet antigène se situe à l'intérieur du virus et n'est pas visible par les anticorps comme les protéines de la spike, situées elles à la surface du virus. *« C'est pourquoi, l'efficacité de ce type de vaccin ne repose que sur la réponse des cellules immunitaires, les lymphocytes T. Nos essais chez la souris montrent néanmoins une bonne efficacité et nous espérons réaliser un premier essai clinique à la fin de l'année. »*

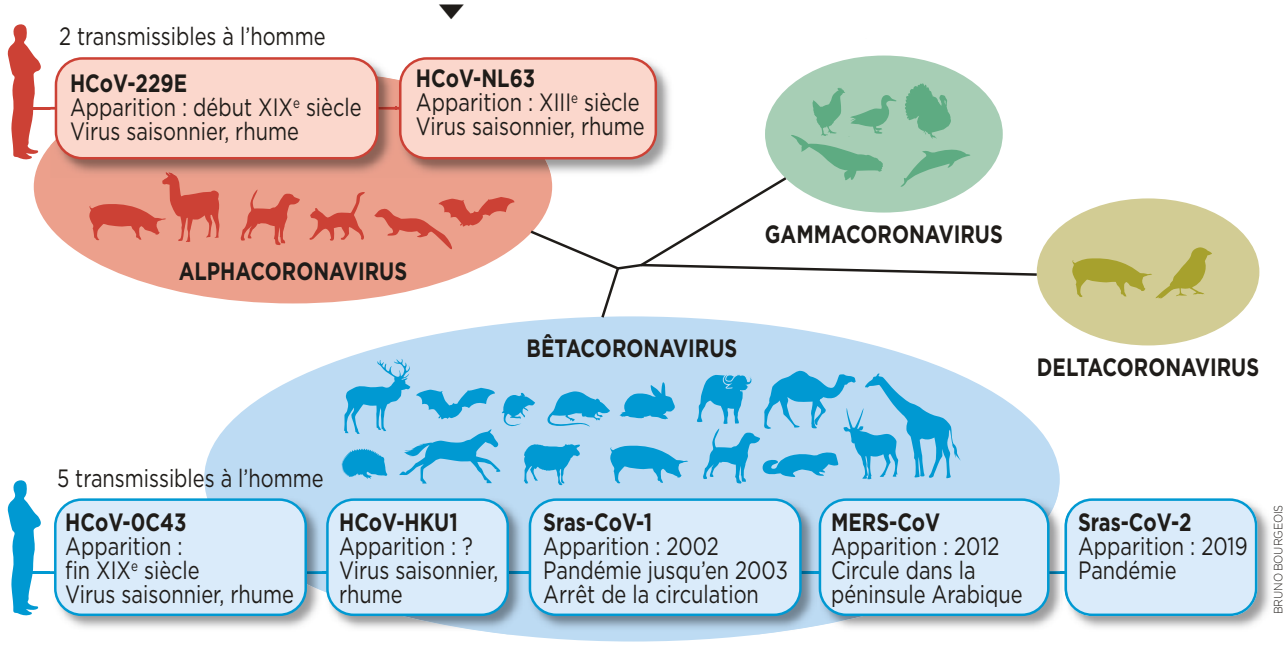
« Plutôt que choisir entre des protéines virales internes ou externes, d'autres laboratoires combinent les

THÉRAPEUTIQUE

L'alternative des traitements antiviraux

La recherche de traitements pour lutter contre l'infection du Sras-CoV-2 a pris du retard sur les vaccins. Néanmoins, quelques résultats encourageants ont été publiés au printemps. Un premier essai clinique de phase 2, présenté à la Conférence internationale sur les rétrovirus et les infections opportunistes, montre que l'infection par le Sras-CoV-2 a été éliminée en cinq jours chez 47 patients avec un nouvel antiviral, pris sous forme de comprimé par voie orale, appelé molnupiravir. Un quart des patients traités avec un placebo avaient encore une charge virale importante. *« C'est une piste intéressante*, confirme Bruno Canard, spécialiste des coronavirus au CNRS. *Le molnupiravir agit lors de la réplication de l'ARN viral. Il s'insère dans l'ARN viral en cours de synthèse et rend son code illisible. »* Ces résultats doivent être confirmés par des essais cliniques plus larges que va mener le laboratoire américain Merck.

Une autre molécule, qui bloque également la réplication de l'ARN viral, est aussi en cours d'essai. L'AT-527, mis au point par le laboratoire américain Atea Pharmaceuticals, fait l'objet de deux essais cliniques de phase 2 soutenus par le laboratoire pharmaceutique suisse Roche. Les résultats devraient être connus dans les semaines à venir. Si les prochains essais cliniques confirment l'innocuité et l'efficacité à plus large échelle de ces produits, une nouvelle arme pour se débarrasser des infections du Sras-CoV-2 et d'autres coronavirus qui ont le même mode de réplication pourrait être disponible avant la fin de l'année.



Parmi les centaines de coronavirus circulant chez de nombreuses espèces animales, sept ont infectés l'humain à ce jour.

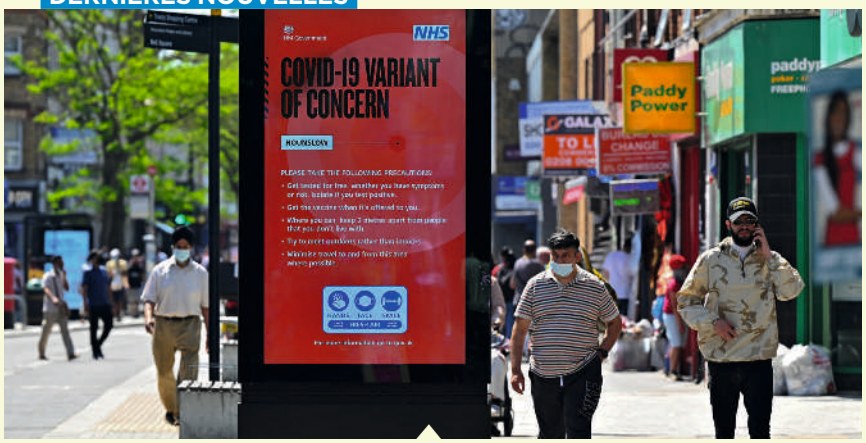
deux », indique Marie-Paule Kieny, virologue, présidente du Comité Vaccin Covid-19 en France. C'est le cas d'une autre société française, Ose Immuno Therapeutics. Son produit baptisé CoVepiT 1 combine 11 protéines virales comme des morceaux de la Spike, de la nucléocapside et d'autres protéines virales non structurantes. Ces éléments ont été sélectionnés après l'étude de plus de 67 000 génomes de Sras-CoV-2 dans le monde ainsi que d'autres coronavirus humains. Après des résultats encourageants chez l'animal, l'entreprise a annoncé le tout premier essai chez l'humain de ce candidat vaccin en mai.

Tester l'efficacité contre un virus qui n'existe pas encore

Mais comment prouver que ces futurs vaccins protégeront contre un hypothétique Sras-CoV-3 ? « *Il faut disposer en laboratoire d'un bon panel de virus issus du monde animal pour commencer à tester ces vaccins en laboratoire*, évoque Marie-Paule Kieny. *On peut ainsi démontrer qu'on arrive à les neutraliser* in vitro *sur des cultures de cellules. On peut également accélérer les processus d'évolution virale, ou construire des virus chimériques en leur ajoutant de nouvelles fonctionnalités, puis tester sur eux l'efficacité de vaccins. Mais cela doit se faire dans des laboratoires de biosécurité de niveau 3 et dans la plus grande transparence.* » Des expériences qui suscitent des controverses dans la communauté scientifique et au sein de la société depuis la publication d'expériences de virus grippaux afin de les rendre transmissibles à l'humain en 2012. D'autant qu'il est possible que ce soit au cours de telles expériences que le Sras-Cov-2 ait été obtenu dans un laboratoire de Wuhan, en Chine. Autrement dit, se protéger de risques futurs, comporte un risque de les rendre présents... ■

Mathias Germain

DERNIÈRES NOUVELLES



JUSTIN TALLIS/ AFP

Devant la progression du variant delta, le Royaume-Uni a reporté d'un mois la fin du confinement.

Le retour de l'hypothèse de la fuite de laboratoire

L'origine de la transmission du Sras-Cov-2 demeure inconnue. Hypothèse la plus largement répandue : le coronavirus serait passé de la chauve-souris à l'humain par un animal intermédiaire. C'est toujours celle de la mission conjointe de l'Organisation mondiale de la santé et de la République populaire de Chine conduite en février. Mais des voix toujours plus nombreuses s'élèvent pour rappeler qu'on ne peut pas exclure une éventuelle fuite depuis l'un des laboratoires de recherche situés à Wuhan. En mars, 26 scientifiques, dont 11 Français, ont ainsi appelé à réévaluer tous les scénarios possibles dans une tribune publiée dans le quotidien *Le Monde*. Puis, en mai, des scientifiques américains, canadiens et britanniques ont signé une tribune allant dans ce sens dans la revue américaine *Science*. Le président des États-Unis leur a emboîté le pas et exigé un rapport des services de renseignement américains pour la fin août.

L'origine des variants « anonymisée » par des lettres grecques

L'Organisation mondiale de la santé (OMS) a décidé d'utiliser les lettres de l'alphabet grec pour nommer les variants du Sras-CoV-2 afin d'éviter de stigmatiser les pays où ils ont été identifiés. Ainsi, le variant B.1.1.7, d'abord identifié au Royaume-Uni, a été baptisé alpha ; le B.1.351, identifié pour la première fois en Afrique du Sud, devient bêta ; et le variant P.1, détecté au Brésil, gamma. Quant aux deux sous-lignées du variant B.1.617 qui sévissent en Inde, elles sont désormais désignées par les lettres delta et kappa.

Le variant indien est davantage transmissible

Le variant delta *(voir ci-dessus)* serait 40 % plus transmissible que le variant alpha selon les scientifiques qui conseillent le gouvernement britannique. Détecté dans au moins 44 pays, il est présent en France depuis le mois d'avril.

L'immunité cellulaire est durable

L'espoir d'une production durable d'anticorps contre le Sras-CoV-2 se renforce avec les résultats de l'équipe de l'immunologiste américaine Ali Ellebedy. Elle a suivi 77 personnes qui ont eu le Covid-19 : sept mois après le développement des symptômes, la plupart d'entre elles avaient encore dans le sang des cellules immunitaires qui gardent en mémoire la fabrication de ces anticorps. En outre, les biologistes ont identifié d'autres cellules immunitaires, situées dans la moelle osseuse (des plasmocytes), capables également d'en fabriquer sur le long terme. **M. G.** ■

SOURCE : JACKSON TURNER, WASHINGTON UNIVERSITY SCHOOL OF MEDICINE, ÉTATS-UNIS

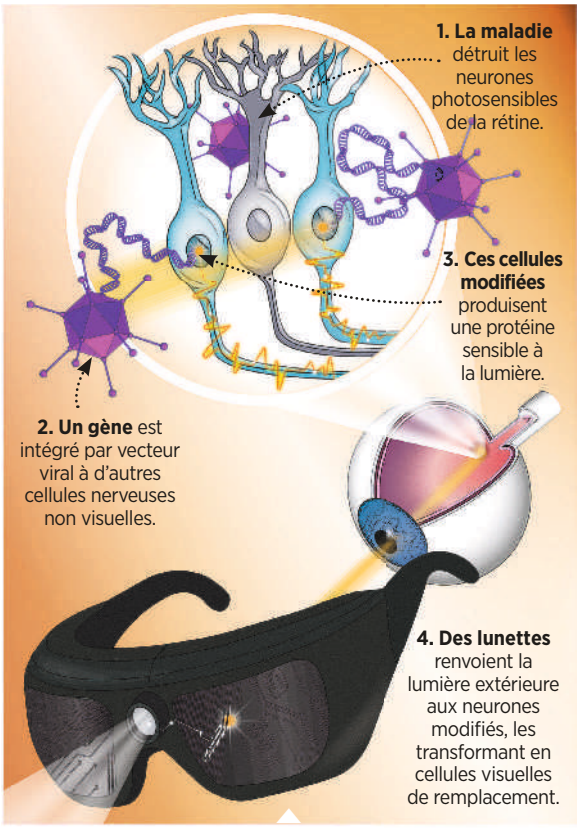
Un aveugle recouvre la vue grâce à une thérapie génique

En stimulant par la lumière l'activité de certains neurones de la rétine, des chercheurs ont réussi à recréer la perception visuelle d'un patient atteint d'une maladie génétique.

UNE THÉRAPIE GÉNIQUE ET DES LUNETTES SPÉCIALES : voilà le dispositif inédit qui a permis à un aveugle de recouvrer partiellement la vue. C'est ce que vient d'annoncer une équipe internationale dans la revue *Nature Medicine*. Un grand succès pour une stratégie dite d'optogénétique qui consiste à stimuler l'activité de certains neurones par la lumière. Grâce aux lunettes qui diffusent une lumière spécifique directement dans l'œil, le patient de 58 ans a été capable de détecter la présence d'objets et de les manipuler pour la première fois. Il a également témoigné avoir pu reconnaître un passage piéton. « *Ces premiers résultats sont vraiment enthousiasmants* », se réjouit le Pr José-Alain Sahel, directeur de l'Institut de la vision, à Paris, qui a conduit l'étude.

Un protocole qui pourrait avoir de larges applications

C'est à l'âge de 18 ans que l'homme s'est vu diagnostiquer une rétinite pigmentaire, maladie génétique qui détruit peu à peu les photorécepteurs — cellules de la rétine sensibles à la lumière — contre laquelle il n'existe pas encore de traitement. Si elle peut être provoquée par différentes mutations, le nouveau protocole devrait pouvoir s'appliquer à tous les cas puisqu'il traite les conséquences de la maladie. « A priori, *cela fonctionnerait aussi avec d'autres pathologies de la rétine, à condition que le nerf optique soit fonctionnel, puisqu'il faut qu'il y ait encore une connexion entre la rétine et le cerveau* », confirme José-Alain Sahel.



VERONIQUE JUVIN / SCIARTWORK

En intégrant un nouveau gène à un dispositif de stimulation lumineuse, la stratégie permet de transformer certains neurones en cellules visuelles (pour remplacer celles détruites par la rétinite pigmentaire).

Pour recréer la perception visuelle, les médecins ont d'abord intégré un gène dans certaines cellules de la rétine à l'aide d'un vecteur viral. Ce gène code une molécule proche des pigments normalement présents dans les photorécepteurs. « *On cherche à faire exprimer dans des neurones qui ne sont pas les neurones visuels une protéine qui est sensible à la lumière, et qui déclenche un courant électrique* », résume Jose-Alain Sahel. Six mois après une injection directement dans le globe oculaire, les neurones de la rétine ciblés se sont mis à produire la protéine photosensible, la ChrimsonR.

Des lunettes pour transmettre la lumière

Par la suite, le patient a été équipé de lunettes chargées de mesurer les variations d'intensité lumineuse de l'environnement. Elles les retransmettent à l'œil selon une longueur d'onde précise (590 nanomètres), associée à une lumière jaune-orangé adaptée à la sensibilité de la ChrimsonR. Trois mois de rééducation ont suffi pour que le cerveau du patient soit capable de traiter ce nouveau type d'informations visuelles.

Désormais, les scientifiques cherchent à améliorer le confort et la résolution des lunettes qui n'offrent encore qu'un champ de vision de 8°. Surtout, il s'agit aussi de perfectionner la phase de rééducation afin de mieux accompagner les six autres patients qui ont déjà bénéficié de l'injection du gène. ■

Edwyn Guérineau

LES 38 SCIENTIFIQUES QUI ONT PARTICIPÉ À CE NUMÉRO

Romain Alléaume, *physicien,* maître de conférences, Télécom Paris
Daniela Bănaru, *écologue,* maîtresse de conférences, Institut méditerranéen d'océanologie, Marseille
Jean-Marc Bassat, *chimiste,* directeur de recherche CNRS, Institut de chimie de la matière condensée de Bordeaux
Sébastien Bize, *physicien,* directeur de recherche CNRS, Systèmes de référence temps-espace (Syrte), Paris
Jean-Michel Besnier, *philosophe,* professeur émérite, Sorbonne Université, Paris
Étienne Challet, *neuroscientifique,* directeur de recherche CNRS, université de Strasbourg
Marian Chatenet, *électrochimiste,* professeur, Institut polytechnique de Grenoble
Jean-François Chermann, *neurologue,* Paris
Dominique Costagliola, *biostatisticienne,* directrice adjointe, Institut Pierre-Louis d'épidémiologie et de santé publique, Paris
Camille Couprie, *informaticienne,* chercheuse, Facebook Artificial Intelligence Research, Paris
Sofia Darmaraki, *océanographe,* postdoctorante, université Dalhousie, Halifax, Canada
Marie Dégremont, *politologue,* chercheuse, Institut d'études politiques de Paris
Emmanuel Dormy, *mathématicien,* directeur de recherche CNRS, École normale supérieure, Paris
Olivier Eichwald, *physicien,* professeur, université de Toulouse
Bess Fang, *astronome,* chercheuse, Systèmes de référence temps-espace (Syrte), Paris
Cécile Ferrari, *planétologue,* professeure, Institut de physique du globe de Paris
Jean-Marc Fromentin, *écologue,* chercheur, Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer (Ifremer), Sète
Isabelle Gallagher, *mathématicienne,* professeure, École normale supérieure, Paris
Jean-Gabriel Ganascia, *informaticien,* professeur, Sorbonne Université, Paris
Alexis Grimaud, *chimiste,* chargé de recherche CNRS, Collège de France, Paris
Benoît Grison, *biologiste et sociologue des sciences,* enseignant-chercheur, université d'Orléans
François Hartog, *historien,* directeur d'études émérite, École des hautes études en sciences sociales, Paris
Philippe Huneman, *philosophe,* directeur de recherche, Institut d'histoire et de philosophie des sciences et des techniques, Paris
Baptiste Le Bihan, *philosophe,* chercheur, université de Genève, Suisse
Roland Lehoucq, *astrophysicien,* chercheur, Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives, Saclay
Gauthier Leterrier, *mathématicien,* chercheur, École polytechnique fédérale de Lausanne, Suisse
Philippe Malafosse, *médecin du sport,* Montpellier
Flore Marty, *neuro-psychologue,* Paris
Pierre Millet, *électrochimiste,* professeur, université Paris-Saclay
Clément Nicollet, *chimiste,* chercheur, Institut des matériaux Jean-Rouxel, Nantes
Alain Schnapp, *historien et archéologue,* professeur émérite, université Paris I-Panthéon-Sorbonne
Marie-Alexandrine Sicre, *océanographe,* directrice de recherche, laboratoire d'océanographie et du climat, Paris
Jacques Touchon, *neurologue,* professeur, université de Montpellier
Emmanuel Trizac, *physicien,* professeur, université Paris-Saclay
Christophe Turpin, *spécialiste des systèmes hydrogène,* directeur de recherche CNRS, université de Toulouse
Laurent Vercueil, *neurologue,* chercheur, Grenoble Institut des neurosciences
Maryna Viazovska, *mathématicienne,* professeure, École polytechnique fédérale de Lausanne, Suisse
Juichi Yamagiwa, *primatologue,* directeur général, Institut de recherche sur l'humanité et la nature, Kyoto, Japon

NOUVELLE FORMULE

148 pages
MAGAZINE-LIVRE
Trimestriel

Chez votre marchand de journaux et chez votre libraire

La Recherche
LE MAGAZINE DE RÉFÉRENCE SCIENTIFIQUE

GETTY IMAGES

Cinq questions pour mieux protéger sa peau en été

Si la lumière naturelle est essentielle à notre organisme, trop s'exposer au soleil accélère le vieillissement cutané et augmente le risque de certaines maladies.

1 Peau et soleil, quelles sont les interactions ?

Le soleil n'est pas un ennemi : il est même essentiel à notre santé. Grâce à lui, notre organisme synthétise de la vitamine D, indispensable au bon fonctionnement de notre système immunitaire, de nos muscles et notre squelette. Il synchronise aussi notre horloge biologique. Mais certains rayons peuvent avoir des effets néfastes. Les ultraviolets de type UVA pénètrent facilement le derme où ils activent la mélanine provoquant ainsi un bronzage rapide mais de courte durée. Le problème, c'est qu'ils accélèrent aussi le vieillissement de la peau et augmentent le risque de cancers cutanés. Quant aux UVB, filtrés par les nuages ou une vitre, ils pénètrent peu l'épiderme mais le brûlent facilement : ce sont eux les responsables des coups de soleil. Les risques liés au soleil dépendent de la durée d'exposition et de l'angle d'incidence des rayons : plus l'astre est haut dans le ciel, et plus la quantité de rayons UV reçue par la peau est importante. C'est pourquoi il faut éviter de s'exposer entre 12 h et 16 h (heure d'été en France métropolitaine). Par ailleurs, plus on a la peau, les yeux et les cheveux clairs, et plus il faut être prudent et opter pour une crème solaire avec un indice élevé.

Par Émilie Gillet, avec Agence Forum News

2 Pourquoi les UVA accélèrent-ils le vieillissement cutané ?

Les UVA altèrent les fibres de collagène et d'élastine présentes dans la peau et favorisent ainsi la formation de rides et ridules. Des taches pigmentées peuvent aussi apparaître de façon permanente sur les zones les plus exposées (visage, mains, bras, décolleté). Mais nous ne sommes pas tous égaux face au vieillissement cutané : des facteurs génétiques peuvent influencer notre susceptibilité ainsi que certaines habitudes de vie (la consommation de tabac principalement). Certaines pratiques esthétiques, comme des injections de toxine botulique ou d'acide hyaluronique, peuvent freiner ce phénomène. Mais cela n'a qu'un effet temporaire, et par ailleurs ne constitue absolument pas une protection contre les effets du soleil. Il est même vivement déconseillé de s'exposer dans les deux à trois mois qui suivent de telles injections.

3 Quels sont les différents types de cancer de la peau ?

Depuis quarante ans, l'incidence annuelle des cancers de la peau (nombre de nouveaux cas) a triplé en France. D'après le Centre de recherche internationale contre le cancer (Circ), plus de 80 % d'entre eux sont liés à des expositions excessives aux rayons UV, qu'ils soient d'origine naturelle ou artificielle. En effet, UVA et UVB peuvent provoquer des dommages à l'ADN des cellules de la peau. Et à la longue, ces modifications génétiques peuvent engendrer un cancer. Les carcinomes sont les plus fréquents : ils

33 % des Français **souffrent d'une maladie** de peau.

26 % des Français **souffrent de deux maladies** de peau

80 % des **cancers de la peau sont liés à une exposition excessive** aux rayons UV.

15 500 **nouveaux cas de mélanomes** ont été diagnostiqués en 2018.

SOURCE : SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE DERMATOLOGIE, CIRC, INCA

MAGAZINES, JOURNAUX, CARNETS, ENVELOPPES…

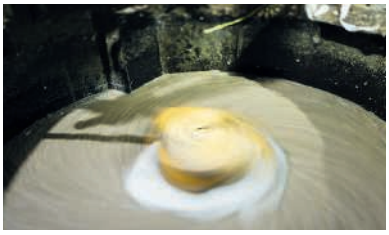
COMMENT TOUS VOS PAPIERS TRIÉS SONT-ILS TRANSFORMÉS POUR ÊTRE RECYCLÉS?

En 2019, grâce au geste de tri des Français, 57% des papiers graphiques ont été recyclés.
Découvrez les 5 étapes qui permettent cette transformation dans une usine papetière.

1. ARRIVÉE DES BALLES DE PAPIERS DU CENTRE DE TRI

Dans ces gros paquets appelés balles, on retrouve tous les papiers triés par les habitants.

2. TRANSFORMATION EN PÂTE À PAPIER



Les balles de papiers sont plongées dans un gros mixeur : **le pulpeur.** Ce brassage avec l'eau permet de séparer les fibres de cellulose.

3. NETTOYAGE ET FILTRAGE DES FIBRES

Cette étape permet d'**éliminer tous les indésirables** (agrafes, spirales, encres, colles…).
La pâte recyclée peut maintenant rejoindre le procédé habituel de la fabrication des papiers.

4. FABRICATION DES FEUILLES

Grâce à une machine à papier, la pâte est aplatie, étirée et séchée sur des cylindres chauffés à la vapeur pour devenir une immense feuille de papier. On peut ainsi fabriquer jusqu'à **110 km de papier** par heure.

5. MISE EN BOBINE DU NOUVEAU PAPIER

Les feuilles de papier recyclé sont mises en bobine et seront ainsi vendues à des imprimeurs qui les utiliseront en tout ou partie pour la fabrication de papiers graphiques (journaux, magazines, cahiers,…).

TRIER, C'EST DONNER DU RÉPIT AUX RESSOURCES DE LA PLANÈTE

1,3 million de tonnes de papiers recyclés permettent d'économiser annuellement :

23 milliards de litres d'eau
soit l'équivalent de la consommation d'une ville comme Toulouse.

4 000 GWh,
soit l'équivalent de deux fois la consommation d'électricité d'une ville comme Marseille.

CITEO

L'AVIS DE L'EXPERT

DR MARION FRADET DERMATOLOGUE
À L'HÔPITAL LARREY (CHU DE TOULOUSE)

« Le soleil peut aussi être bienfaisant pour la peau »

Le soleil peut-il avoir un effet bénéfique sur certaines maladies de peau chroniques ?
Oui, c'est même pour cela que certaines sont traitées par photothérapie. Dans le cas du psoriasis par exemple, les rayons UVB ralentissent le renouvellement des cellules cutanées et permettent ainsi de réduire les lésions. Ils ont aussi un effet anti-inflammatoire intéressant contre certaines formes d'eczéma. Dans le vitiligo [qui provoque une dépigmentation partielle de la peau], ces mêmes UVB stimulent les mélanocytes, ce qui va permettre, dans une certaine mesure, de repigmenter la peau.

M. FRADET

Ces personnes-là peuvent-elles s'exposer sans risque ?
Non car les risques de coups de soleil, de cancers et de vieillissement accéléré de la peau sont toujours présents. On leur conseille donc, comme pour n'importe qui, de se protéger avec de la crème solaire, car celle-ci permet quand même le passage d'une petite quantité de rayons UVB, et de s'exposer aux heures les moins risquées, le matin ou en fin d'après-midi.

Quels sont ses effets sur l'acné ?
Il faut être plus prudent. Sur le moment, l'action anti-inflammatoire des rayons solaires permet une diminution des lésions. Mais après l'arrêt de l'exposition, on observe bien souvent une flambée de l'acné. Par ailleurs, il ne faut pas négliger le risque important d'hyperpigmentation des cicatrices à cause du soleil.
C'est pourquoi on ne fait jamais de photothérapie contre l'acné. ■

Propos recueillis par É. G.

surviennent en général après 50 ans, sur les zones les plus exposées (visage, cou, bras...). Dans la majorité des cas, ils se soignent assez bien par la chirurgie. Toute plaie, cicatrice ou bouton qui persiste ou change d'aspect doivent être examinés pour un médecin pour écarter le risque d'un carcinome. Quant aux mélanomes, ils sont beaucoup plus rares, mais aussi beaucoup plus dangereux car ils ont un très fort potentiel métastatique. Un mélanome peut être situé n'importe où sur le corps, même dans le cuir chevelu, et se manifeste par l'apparition d'une tache pigmentée en relief ou par la déformation d'un grain de beauté existant.

4 Peut-on faire une réaction allergique au soleil ?

Oui, on parle alors de lucite estivale. Fréquente mais le plus souvent bénigne, elle se manifeste par de petits boutons qui démangent, plus particulièrement sur les bras, les jambes et le décolleté. Le visage est rarement atteint car il est exposé à la lumière du soleil toute l'année, mais cela peut arriver : on parle alors d'hypersensibilisation locale.
Les boutons apparaissent après une exposition prolongée dès les premiers jours de beau temps. Aujourd'hui, on connaît encore mal les mécanismes de la lucite mais l'on suspecte l'implication d'un agent photosensibilisant, une molécule qui serait présente dans la circulation sanguine ou les cellules de la peau et qui induirait un phénomène inflammatoire. Tant que les boutons persistent, mieux vaut ne plus s'exposer. En général ils disparaissent d'eux-mêmes après quelques jours. Si les démangeaisons sont trop fortes ou les lésions très étendues, un traitement local (crème anti-inflammatoire type corticoïdes) ou par voie générale peut être prescrit par un médecin. Pour prévenir une nouvelle crise, il faut éviter toute exposition prolongée, utiliser une crème solaire d'indice supérieur à 30.

5 Notre microbiote cutané est-il affecté par les rayons UV ?

La peau n'est pas une surface stérile. Tout comme notre intestin ou nos poumons, elle héberge naturellement des milliards de bactéries, levures et virus : c'est le microbiote cutané, dont la composition varie entre les zones sèches, humides ou grasses du corps. Certes, il peut disparaître en partie lorsque nous nous lavons avec du savon ou utilisons du gel hydro-alcoolique, mais il est très résilient et se reconstitue rapidement. Ce microbiote joue un rôle important dans la protection contre les pathogènes et certains processus de cicatrisation. Par ailleurs, des déséquilibres dans sa composition seraient corrélés dans des maladies de peau chroniques telles que le psoriasis ou l'eczéma. En 2019, une équipe de l'université d'Alabama à Birmingham (États-Unis) a montré que les rayons UV avaient des effets quantitatifs et qualitatifs sur la composition du microbiote cutané.
Des travaux menés par des chercheurs de l'université de Graz (Autriche), d'une part, et de l'université de Californie à San Diego (États-Unis), d'autre part, suggèrent quant à eux que des microbes de la peau pourraient atténuer certains effets négatifs de la surexposition au soleil en réprimant des mécanismes de cancérisation. De quoi aiguiser l'intérêt des grandes firmes de cosmétiques qui investissent dans les programmes de recherche sur le microbiote cutané. Depuis peu on voit ainsi se multiplier les crèmes hydratantes ou solaires contenant des probiotiques, alors même qu'aucune étude clinique n'a confirmé leur intérêt pour notre peau. En 2019, le marché des cosmétiques modulant le microbiote cutané était estimé à 541 millions de dollars (444 millions d'euros environ), il devrait atteindre les 3 milliards en 2030 (rapport Research & Markets). ■

Concepteur
et fabricant
FRANÇAIS

Douches Kinedo

présente

Kinemagic

Pour éviter les chutes dans la salle de bain,

remplacez votre baignoire par une douche luxueuse et sécurisée.

100% sécurisé

Pose en 48h sans gros travaux

Devis gratuit

VU À LA TV

Fabrication française

PLUS D'INFORMATIONS

par téléphone
0 800 05 06 07 Service & appel gratuits

par internet
www.kinemagic.fr

par courrier
en retournant la demande de devis personnalisé et gratuit
Coupon à envoyer à :
AQUAPRODUCTION
LIBRE RÉPONSE 51045
44680 SAINTE PAZANNE

❑ Oui, je souhaite en savoir plus sur la douche Kinemagic et bénéficier d'un **DEVIS GRATUIT** sans engagement de ma part.

Nom : ..... Prénom : .....

Adresse : .....

.....

CP : ..... Ville : .....

Téléphone : .....

Email : .....

N'affranchissez pas ce courrier, nous vous offrons les frais postaux.

Kinemagic - Paris Match

Avec les fortes chaleurs, les aliments fraîcheur font recette

Le menu idéal par temps de canicule ? Une viande blanche avec melon et tomates et du sorbet en dessert. Le tout arrosé d'eau plate ou gazeuse, mais pas trop fraîche…

Selon Météo France, l'été 2021 devrait être plus chaud et plus sec que la normale. Une simple tendance mais qui laisse envisager une évaporation de l'appétit avec les températures élevées. Pour résister au mieux aux vagues de chaleur, il reste indispensable de conserver des repas réguliers tout en modifiant un tant soit peu son alimentation. Certains aliments sont en effet plus indiqués pour favoriser l'hydratation, compenser les pertes de minéraux par la transpiration et limiter la dépense énergétique nécessaire à la digestion. Cap sur une assiette estivale rafraîchissante à déguster, bien sûr, à l'ombre.

S'hydrater sans tomber dans l'excès

Pendant les épisodes de fortes chaleurs, l'un des mécanismes de régulation de la température interne est la transpiration. Au repos et à 27 °C à l'ombre, les pertes de sueur, composée d'eau (99 %), de déchets, d'acide lactique et de sels minéraux, sont de 50 ml par heure, soit 1,2 l/24 h. À 38 °C, à l'ombre, elles grimpent à 300 ml/h, soit 7,2 l/24 h (1). Pour éviter la déshydratation, caractérisée par de la fièvre, des maux de tête, des vertiges ou des nausées, il est recommandé de boire régulièrement de l'eau, sans attendre de ressentir la soif — notamment chez les personnes âgées qui perdent cette sensation (2). Toutefois, attention à ne pas tomber dans l'excès. Une consommation de liquide au-delà de 3 à 4 litres par jour peut entraîner une hyponatrémie, un déficit de sodium dans le sang potentiellement grave chez les personnes âgées, les individus atteints d'une maladie chronique (troubles endocriniens, insuffisances rénale, hépatique ou cardiaque, etc.) ou qui prennent certains médicaments (diurétiques, neuroleptiques, antidépresseurs) (3).

345 millions

de litres de glace sont fabriqués en France chaque année. 171,8 tonnes ont été vendues en 2020, soit 10 % de plus qu'en 2019. (Source : Association des entreprises des glaces.)

Ni trop chaud, ni glacé

Les eaux plates et gazeuses ou infusées « maison » aux fruits (citron, pastèque, etc.) et aux plantes (verveine, menthe, etc.)

BERNARD MARTINEZ POUR SCIENCES ET AVENIR-LA RECHERCHE

HYPONATRÉMIE Trouble caractérisé par une concentration de sodium inférieure à 135 mmol/litre de plasma sanguin. Il se traduit par des nausées et des vomissements, un œdème ou une asthénie et peut se compliquer de désordres neurologiques, voire du décès.

THERMOGENÈSE Production de chaleur de l'organisme par augmentation du métabolisme cellulaire. Elle est régulée par l'hypothalamus.

GLACE Dessert congelé pouvant être préparé à partir d'un mélange pasteurisé de lait (au moins 6 % d'extrait sec dégraissé du lait dans la glace), d'œufs (au moins 7 %) ou de protéines végétales (tonyu), de gélatine et de sucre.

sont les plus désaltérantes, *a contrario* des sodas, des jus de fruits et de l'alcool qui favorisent la déshydratation. La bière et les boissons à forte teneur en caféine (café, thé) sont aussi à limiter, car elles sont diurétiques. Par ailleurs, si boire froid procure un effet rafraîchissant immédiat, cela peut occasionner des troubles digestifs tels des crampes ou de la diarrhée.
En outre, des chercheurs de l'université d'Ottawa (Canada) ont remarqué qu'une eau glacée n'aide pas à faire baisser la température corporelle car elle réduit la transpiration, contrairement à une boisson très chaude, qui elle, l'augmente. Toutefois cette différence ne serait pas si significative : au cours de l'expérience, les personnes ayant bu une boisson très chaude ont perdu 56 kilojoules (kJ) sous forme de chaleur, alors que celles qui buvaient très froid ont eu un apport de 21 kJ (4). La sudation serait ainsi modulée en fonction de la température de la boisson par des récepteurs thermosensibles situés dans l'estomac (5).

Choisir des fruits et légumes riches en eau

Avec une teneur en eau avoisinant les 90 à 95 %, concombre, tomate, courgette, salade, radis mais aussi pastèque, fraises, pêche et melon complètent les apports hydriques et apportent de précieux minéraux qui compensent ceux évacués par la transpiration : du chlorure de sodium (98 mg/100 g de courgette cuite), du potassium (380 mg/100 g de melon) et du magnésium (8,9 mg/100 g de concombre). Tous sont aussi sources de fibres (3,8 g/100 g de fraises, 3,5 g/100 g d'épinards cuits) qui permettent de facilement se rassasier (6). En revanche, on évite ceux qui ont un effet diurétique, comme la mangue, l'asperge ou le fenouil. Par ailleurs, attention à ne pas retirer totalement le sel de ses menus, surtout si l'on transpire beaucoup. Consommé en petites quantités, il permet de réintroduire du chlore et du sodium éliminés par la sueur.

Des repas légers et fractionnés

Fractionner les repas en quatre à cinq collations permet de pallier le manque d'appétit fréquent en période de canicule et de maintenir des apports caloriques suffisants. À éviter, les aliments gras (burgers, plats préparés, frites...) qui surchargent le travail de digestion et favorisent la thermogenèse. Aussi mieux vaut remplacer la viande rouge (bœuf, porc, agneau) riche en graisses saturées par de la volaille (poulet, dinde...) ou du lapin. De plus, la viande blanche apporte du tryptophane, un acide aminé précurseur direct de la sérotonine, un neurotransmetteur qui favorise le sommeil, souvent perturbé lors de ces épisodes.

Fondre pour un sorbet plutôt qu'une crème glacée

Composé de 70 % d'eau en moyenne et de 25 % minimum de fruits — 15% pour des fruits acides, comme le citron ou l'ananas voire 45 % pour les « plein fruit » —, le sorbet rafraîchit sans peser sur la balance. Il affiche en moyenne 65 kcal pour deux boules, soit moitié moins (130 kcal) qu'une même quantité de crème glacée, préparée à partir d'un mélange pasteurisé de lait, de crème (5 % minimum de matières grasses laitières) et de sucre (7). Les glaces, notamment celles à base d'œufs, peuvent également se montrer caloriques. Compter ainsi 384 kcal/100g pour la glace à la vanille de la marque Haagen Dazs. ■

Sylvie Boistard @syboistard

PR FRANÇOIS-XAVIER WEILL Responsable de l'unité des bactéries pathogènes entériques, Institut Pasteur (Paris)

Attention aux contaminations bactériennes

« À 37 °C, le nombre de salmonelles double toutes les vingt minutes. Il faut donc être vigilant sur certains aliments à risque comme la viande, les œufs et les fromages au lait cru. Les salmonelles, présentes dans le tube digestif des animaux peuvent se retrouver accidentellement dans notre assiette et être à l'origine de gastro-entérite dans les 12 à 36 heures après l'ingestion d'un aliment contaminé. Les aliments crus à base d'œufs (mayonnaise, mousse au chocolat, etc), les tartares et les carpaccios doivent être conservés dans la partie la plus froide du réfrigérateur et être jetés s'ils sont restés le temps du repas à l'extérieur. Pour prévenir les contaminations croisées, la viande crue doit être découpée sur une planche et avec des ustensiles qui ne devront pas être réutilisés pour d'autres préparations. De même, on ne se sert pas du même plat pour déposer la viande crue et celle cuite, par exemple, au barbecue. »

(1) Coup de chaleur et survie dans le désert, Loutan L. et al, *Revue médicale suisse*, 2002.

(2) Comment supporter au mieux les grandes chaleurs ? Anses.

(3) Canicule, hyponatrémie : recommandations pour les populations à risque, ministère des Solidarités et de la Santé.

(4) Body heat storage during physical activity is lower with hot fluid ingestion under conditions that permit full evaporation, Bain A.R. et al, Acta *Physiologica*, 2012.

(5) Evidence that transient changes in sudomotor output with cold and warm fluid ingestion are independently modulated by abdominal, but not oral thermoreceptors, Morris N. et al, Journal of *Applied Physiology*, 2014.

(6) Table nutritionnelle Ciqual, Anses.

(7) Glaces, sorbets et crèmes glacées : comment les conserver ? DGCCRG, 2020.

Entretien avec...

L'immunologie n'a pas fini de révolutionner la médecine !

**Questions à Renato Monteiro,
Président de la Société Française d'Immunologie**

Qu'est-ce que l'immunologie ?

C'est la science du système de défense contre des pathogènes (virus, bactéries, parasites, etc.). Celui-ci est notamment régulé par ses interactions dans les muqueuses avec des bactéries anaérobies, le microbiote, dans les voies respiratoires, l'intestin... Chacun a les siennes propres et donc son propre système immunitaire.

Qu'est-ce qu'une maladie inflammatoire ?

Une inflammation qui ne se résout pas mais devient répétitive et chronique signifie qu'il y a réponse anormale à certains antigènes. La cause est inconnue mais il y a toujours rencontre entre terrains génétique et environnemental. Comme dans la maladie de Crohn où l'hyperactivation du système immunitaire provoque des inflammations successives entraînant l'érosion de la paroi de l'intestin grêle.

En quoi l'immunologie est-elle prometteuse ?

Demain, la médecine sera personnalisée. Son but ultime est de pouvoir connaître la carte immunogénétique de chacun afin de pouvoir prévoir chez qui tel facteur peut provoquer telle maladie. Je travaille par exemple sur une maladie rénale immunologique causée en partie par des bactéries anormales du microbiote intestinal. L'immunologie permettra de proposer des nouveaux traitements.

Et sur le SARS-CoV-2 ?

L'immunologie peut soigner par le vaccin ou par thérapie passive des patients en immunosénescence, dont le système immunitaire n'est plus apte à fabriquer ses propres anticorps. Des anticorps créés en laboratoire bloquent le virus et préviennent la phase létale. Cela nécessite de savoir de quel variant est atteint le patient et ne remplace pas le vaccin. ■

+ d'infos : https://immunology.fr

Société Française d'Immunologie

Dossier réalisé par **DUOMEDIAS.**
Gilles Baron 06 82 84 11 02 – gbaron@duomedias.fr
Rédaction : Lise Dabel, Guillemette de Bayser – Maquette : Sylvie Bisson

SANOFI GENZYME

Détecter l'asthme sévère pour mieux le prendre en charge

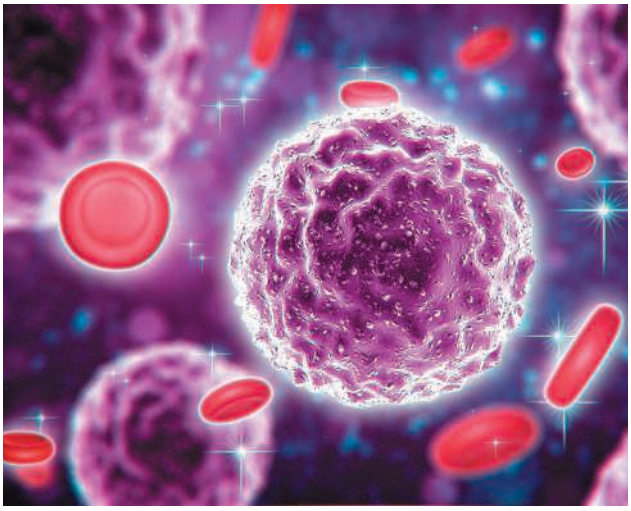
L'asthme sévère est largement sous-diagnostiqué. Pourtant, avec l'avènement récent de nouvelles prises en charge, les malades peuvent espérer améliorer leur qualité de vie.

© Getty Images/iStockphoto

Chacun connaît autour de soi des asthmatiques. En France, cette maladie chronique touche plus de 4 millions de personnes [1], soit plus de 6 % de la population. Cette inflammation des voies aériennes produit des symptômes respiratoires intermittents tels que des sifflements, une toux, une oppression thoracique et des difficultés à respirer. Environ 3 à 10 % des asthmatiques souffrent d'une forme plus rare qualifiée d'asthme sévère, un asthme particulièrement difficile à soigner malgré le bon suivi des traitements habituels [2]. Lorsque l'asthme ne devient plus contrôlable, la prise en charge par un pneumologue est alors impérative.

La complexité du diagnostic

De fait, l'asthme sévère n'est pas évident à détecter. Comme souvent dans les maladies chroniques, le patient adapte son mode de vie à sa maladie. Il déménage au rez-de-chaussée pour s'éviter les escaliers qu'il n'arrive plus à franchir, il réside à la campagne plutôt qu'à la ville, à la recherche d'air pur, il utilise la voiture afin de s'épargner tout effort physique, etc. Ainsi, quand les médecins les questionnent, 73 % des asthmatiques sévères affirment aller bien [3].



© Getty Images/iStockphoto

« *En réalité, seulement 15 % de ces asthmatiques sévères sont bien contrôlés (sans symptômes ni gêne dans la vie quotidienne, avec moins d'une crise par mois),* affirme le Docteur Colas Tcherakian, Pneumologue à l'Hôpital Foch, à Suresnes. *À terme, les asthmatiques mal contrôlés risquent de développer une insuffisance respiratoire. De simples questionnaires suffisent pourtant à mieux identifier les malades comme les tests de contrôle de l'asthme (TCA) tels que celui de l'association internationale d'experts du GINA* (Global Initiative for Asthma). *Il s'agit de savoir si le malade est gêné dans ses activités, par ses symptômes (sifflement, réveils nocturnes), s'il est capable de monter quatre étages sans s'arrêter, s'il tousse en riant ou à quelle fréquence il prend un traitement de secours. Par ailleurs, il est difficile de faire comprendre au patient que soulager une crise ne traite en rien l'inflammation bronchique.* »

Selon lui, l'autre raison pour laquelle le dépistage ne s'améliore pas est liée au fait que les médecins généralistes ne disposent pas forcément des bons outils de diagnostic : « *C'est le souffle qu'il faut mesurer régulièrement, notamment* via *des épreuves fonctionnelles respiratoires (EFR) qui consistent à contrôler le débit d'air maximum ou VEMS (Volume expiratoire maximal par seconde) pour évaluer l'obstruction respiratoire, examens réservés aux pneumologues qui peuvent exceptionnellement être pratiqués chez les généralistes.* » En outre, le GINA recommande aux patients d'utiliser un débitmètre de pointe, un petit dispositif simple dans lequel le malade souffle pour déceler une dégradation de ses performances respiratoires ou évaluer l'effet d'un traitement. La mesure est basée sur le déplacement d'un curseur selon le souffle. « *Ce simple contrôle est sous-utilisé en France,* regrette-t-il. *Cela devrait être le pendant de la mesure de glycémie pour un diabétique.* »

Vers une nouvelle compréhension de l'asthme sévère

Depuis quelques années, les asthmatiques sévères disposent d'un nouvel arsenal thérapeutique. De quoi permettre aux patients d'espérer améliorer leur qualité de vie. Jusqu'alors, le traitement de base des asthmes sévères reposait sur les CSO (corticostéroïdes oraux) dont les effets secondaires sont particulièrement fréquents et problématiques. « *Depuis quelques années, nous disposons de nouvelles solutions thérapeutiques,* se réjouit le Dr Colas Tcherakian. *Les patients doivent savoir que la recherche a avancé et qu'ils ne doivent plus rester seuls face à leur maladie.* »

Une meilleure éducation thérapeutique

Pour mieux prendre en charge l'asthme sévère au quotidien, il faut également identifier ce qui est délétère dans l'environnement du malade, comme l'usage d'huiles essentielles, d'encens, certains diffuseurs de parfum… Il faut aider les malades à bien comprendre le phénomène d'inflammation, à mieux gérer leurs crises et adapter leur activité physique. C'est le but des centres d'éducation thérapeutique, nombreux pour le diabète, encore trop rares pour l'asthme. « *L'objectif de cette prise de conscience est d'aider le malade à mieux vivre avec ce qui lui reste comme souffle en gardant les meilleures capacités cardiaques et musculaires,* note le pneumologue. *Il s'agit souvent de favoriser la marche, la plus rapide possible et le plus longtemps possible.* »

Vers une meilleure compréhension de l'asthme de type 2

Depuis une dizaine d'années, ces mécanismes inflammatoires sont progressivement identifiés. Il est possible de cibler des cytokines (notamment interleukine (IL) -4, IL-5, IL-13), ces protéines produites par le système immunitaire qui servent à la communication entre les cellules. Elles agissent sur des cellules cibles auxquelles elles se fixent, ce qui induit souvent la production d'autres cytokines entraînant des réactions en cascade.

L'inflammation de type 2 peut être la cause de plusieurs affections comme l'asthme, la dermatite atopique ou la polypose naso-sinusienne [4]. Ainsi, de nombreux patients atteints d'asthme associé à une inflammation de type 2 souffrent aussi d'une ou plusieurs de ces maladies : près de 50 % des patients atteints de polypose naso-sinusienne ont un asthme associé et jusqu'à 45 % de ceux souffrant d'asthme sévère présentent une polypose naso-sinusienne [5][6]. La prise en charge de ces patients est complexe, et doit être pluridisciplinaire.

Les maladies inflammatoires de type 2 peuvent également se répercuter sur la santé physique et mentale provoquant des troubles du sommeil ou des dépressions, d'autant plus lorsque le patient souffre de plusieurs affections. Jusqu'à 50 % des personnes souffrant d'asthme sévère rapportent des symptômes de dépression [7].

(1) https://www.santepubliquefrance.fr/maladies-et-traumatises/maladies-et-infections-respiratoires/asthme

(2) GINA 2020 – Global Initiative for Asthma. Global Strategy for Asthma Management and prevention 2020. Disponible sur : www.ginasthma.org

(3) Molimard M, Vervloet D, Le Gros V, Bourdeix I, Ponthieux A. Insights into severe asthma control as assessed by guidelines, pulmonologist, patient, and partner. Journal of Asthma. oct 2010;47(8):853 9.

(4) Gandhi NA, BL Bennett, NM Graham, et al. Targeting key proximal drivers of type 2 inflammation in disease. Nat Rev Drug Discov 2016;15(1):35-50.

(5) A. Khan, G. Vandeplas and T. Huynh, "The Global Allergy and Asthma European Network (GALEN rhinosinusitis cohort: a large European cross-sectional study of chronic rhinosinusitis patients with and without nasal polyps," Rhinology, vol. 57, no. 1, pp. 32-42, 2019.

(6) Micheletto C, et al. Eur Ann Allergy Clin Immunol. 2010;42 : 120-124

(7) C. Rand, R. Wright and M. Cabana, "Mediators of asthma outcomes," J Allergy Clin Immunol, vol. 129, no. 301, pp. 136-141, 2012

7000033400 - 05/2021

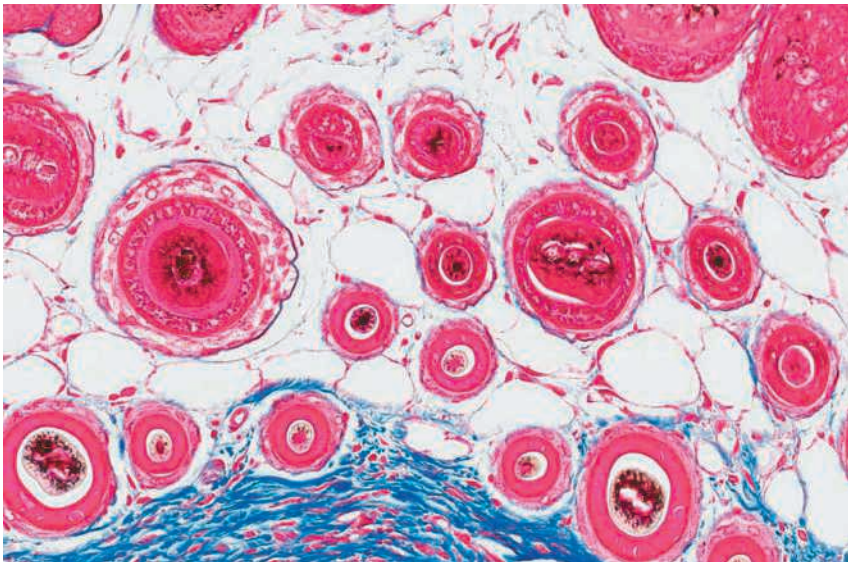
JANSSEN FRANCE

CP-230169 – 05/2021

Notre ambition est de contrôler de façon durable les maladies inflammatoires

Janssen concentre une partie de ses efforts de recherche pour développer de nouveaux traitements contre les maladies inflammatoires à médiation immunitaire.

Entretien avec Christine Contré, Directrice Médicale Immunologie de Janssen France



Qu'est-ce qu'une maladie inflammatoire chronique à médiation immunitaire ?

C'est une maladie due à un dysfonctionnement persistant du système immunitaire qui se manifeste par une inflammation chronique des tissus sains (peau, articulations, système digestif). Notre système immunitaire est activé quand il est agressé. Chez les personnes souffrant de ces maladies, ce système de défense est dérégulé. L'organisme s'attaque à lui-même pour des raisons qui restent encore mal connues. Des facteurs génétiques, environnementaux ainsi qu'un déséquilibre de la flore intestinale pourraient être en cause. À titre d'exemples, le système immunitaire attaque les cellules des articulations, des ligaments ou des tendons dans la polyarthrite rhumatoïde, les fibres nerveuses dans la sclérose en plaques.

Sur lesquelles de ces maladies travaille Janssen ?

Janssen mène des recherches en immunologie depuis plus de 20 ans. Nous avons été parmi les premiers à lancer des anticorps monoclonaux pour cibler les protéines impliquées dans les maladies inflammatoires, les cytokines. Ces traitements ont révolutionné la prise en charge de nombreuses maladies. Aujourd'hui, nous sommes plus particulièrement engagés dans trois de ces pathologies : le psoriasis qui se manifeste par des plaques sur la peau (1,5 à 3 millions de malades en France), le rhumatisme psoriasique qui atteint les articulations, et les maladies inflammatoires chroniques de l'intestin (MICI) que sont la maladie de Crohn et la rectocolite hémorragique (RCH), qui se caractérisent par l'inflammation d'une partie de la paroi du tube digestif (plus de 200 000 patients en France).

Quels sont vos objectifs de recherche ?

La première préoccupation est la vie quotidienne des patients qui subissent une alternance de poussées inflammatoires entrecoupées de périodes de rémission qui peuvent durer plusieurs années si la maladie est bien contrôlée. Aucun traitement actuel ne guérit ces maladies. Notre but est de proposer aux patients des traitements innovants pour contrôler de façon durable leur maladie jusqu'à une disparition complète ou quasi complète de leurs symptômes et leur permettre de retrouver une qualité de vie satisfaisante. Ainsi, dans le cas des MICI, l'objectif est de faire disparaître toute trace d'inflammation au niveau de la paroi intestinale. Il existe aujourd'hui un arsenal thérapeutique varié et nécessaire car il arrive assez souvent que la maladie échappe à un premier, voire un deuxième médicament. L'adhésion du patient est alors primordiale…

Janssen s'est toujours beaucoup impliqué auprès des patients. Qu'en est-il sur ces maladies ?

Au-delà de la qualité de vie des patients, nous tentons de déstigmatiser ces maladies. Depuis quelques années, du seul rôle de bénéficiaire de soins, le patient est devenu un partenaire informé. Il est aujourd'hui un maillon clé dans le développement des produits, à chaque étape, aux côtés des équipes soignantes et des associations de patients. Avec ces dernières, nous développons des programmes d'information, du matériel pédagogique, des services innovants afin de mieux faire connaître ces maladies et d'améliorer les parcours de soins. Ainsi, avec l'association de patients France Psoriasis et des professionnels de santé, nous avons cocréé Citizen Pso, un outil pédagogique d'information sur le psoriasis pour lever les tabous sous forme d'*escape game*, pour changer le regard sur la maladie et informer plus facilement. ■

Information communiquée par le Laboratoire Janssen-Cilag

© Getty Images/iStockphoto

ASTRAZENECA

Traiter les asthmatiques sévères avec des thérapies ciblées

Bon nombre de patients asthmatiques sévères peuvent désormais bénéficier de traitements qui agissent directement sur les cellules inflammatoires.

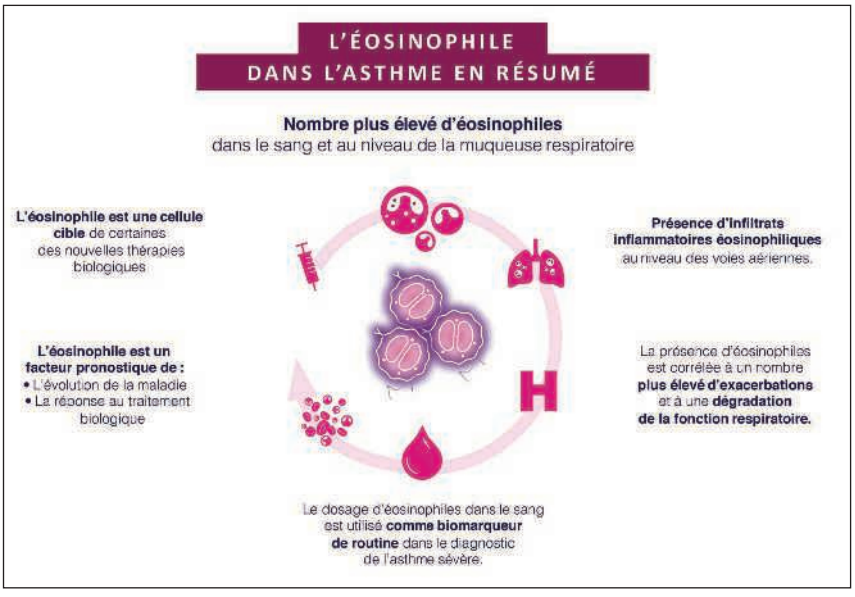
Entretien avec Gabriel Thabut.

L'asthme est une maladie aujourd'hui bien connue : cette inflammation chronique des bronches entraîne des crises, des sifflements et une gêne respiratoire. Si des phases de rémission existent, parfois de plusieurs années, la maladie persiste néanmoins toute la vie. La majorité des asthmes est bien contrôlée par les traitements conventionnels. Mais 5 à 10 % des patients souffrent d'une forme plus grave de la maladie, l'asthme sévère, avec des symptômes qui perdurent malgré les traitements ou qui nécessitent une pression thérapeutique élevée pour être contrôlés.

Aujourd'hui, les mécanismes physiopathologiques sous-jacents sont de mieux en mieux compris. Il s'avère qu'il n'y a pas « un asthme », mais plusieurs formes de la maladie, ce qui a ouvert la voie à des thérapies ciblées. « *De fait, on sait depuis 1990 que les éosinophiles, qui sont des cellules inflammatoires, jouent un rôle majeur dans l'asthme sévère,* explique Gabriel Thabut, Directeur des affaires médicales, aire thérapeutique respiratoire et immunologie chez AstraZeneca. *Ces cellules sont en grand nombre dans les bronches d'environ 70 % des asthmatiques sévères qu'ils soient allergiques ou non, et en quantité d'autant plus importante que l'asthme est sévère.* »

Cibler les éosinophiles

Comment agissent les éosinophiles ? Ils modulent la réponse immunitaire et jouent un rôle dans l'hyperréactivité bronchique, l'augmentation de la sécrétion de mucus et le remodelage des voies aériennes. Leur taux impacte également la capacité des traitements à contrôler l'asthme. Ce sous-groupe de patients, qui concernerait 50 à 70 % des asthmatiques sévères, peut être diagnostiqué avec une simple prise de sang. Typiquement, cet asthme dit éosinophilique débute à l'âge adulte, est fréquemment associé à une polypose nasale, à une fonction respiratoire altérée et à un recours fréquent aux corticoïdes oraux (CSO).



De fait, les CSO diminuent les éosinophiles sanguins. À ce titre, ils sont efficaces contre l'asthme mais ce sont des anti-inflammatoires au sens large, qui induisent de nombreux effets secondaires n'apparaissant parfois qu'au bout de 5, 10 voire 15 ans de traitement comme le diabète, des maladies cardiovasculaires, l'ostéoporose, des fractures osseuses, de l'hypertension artérielle, la cataracte, etc.

À l'inverse, les stratégies déployées dans les nouveaux traitements sont d'autant plus efficaces qu'elles ciblent spécifiquement les éosinophiles. Comment ? Leur présence et leur multiplication sont liées aux cytokines, des protéines produites par le système immunitaire. L'une d'entre elles, l'interleukine 5 (IL-5), est particulièrement importante dans la production des éosinophiles par la moelle osseuse, leur migration vers les bronches et leur activation.

Une nouvelle ingénierie thérapeutique

Les nouveaux traitements contre les éosinophiles (une injection tous les 15 jours à 2 mois) sont des anticorps monoclonaux qui ont pour objectif leur suppression rapide et quasi totale dans le sang.

Ces traitements réduisent les symptômes dont notamment les crises mais aussi le recours aux CSO, et améliorent ainsi la qualité de vie des patients.

« *Depuis une quinzaine d'années, nous développons une véritable ingénierie autour de ces anticorps monoclonaux,* confirme Gabriel Thabut. *Nous les modifions pour ajuster leurs propriétés : augmenter leur durée d'action, attirer telle cellule et détruire telle autre. Nous espérons que ce type de thérapie entraînera une réelle rémission de l'asthme sévère.* »

FR-8729 - 05/2021

L'origine des Scythes révélée par la génétique

L'étude de génomes anciens a permis de retracer l'essor et le déclin des Scythes, l'une des plus fascinantes cultures nomades des steppes d'Asie centrale à l'âge du fer.

Par Bernadette Arnaud @NarudaaArnaud

EGMONT STRIGL/GETTY IMAGES

De nombreux tertres funéraires ou kourganes édifiés par les Scythes ont été retrouvés dans la région de l'Altaï en Russie (ici dans les monts Saïliouguem).

« Tout Scythe qui tue pour *la première fois boit du sang de sa victime ; aux ennemis qu'il abat dans une bataille, il coupe la tête qu'il présente au roi ; s'il présente une tête, il a sa part du butin conquis. Parfois les Scythes tannent la peau de leurs ennemis, d'autres scient leurs crânes pour les transformer en coupe à boire.* » L'auteur de ces descriptions peu amènes ? L'historien grec Hérodote, dans le *Livre IV* de sa célèbre *Enquête* (Ve siècle avant. J.-C.). Dans ce qui est le plus ancien texte complet en prose qui nous soit parvenu de l'Antiquité, l'auteur portraiture les Scythes qu'il a croisés du côté de la mer Noire, lors de son séjour dans la colonie grecque d'Olbia du Pont (dans l'actuelle Ukraine). C'est aussi sur le territoire des Scythes qu'Eschyle situe sa tragédie *Prométhée enchaîné*, dans laquelle le Titan est condamné à se faire dévorer le foie chaque jour... C'est dire combien le caractère cruel accolé à ces peuples obsédait les Anciens. Pour les auteurs grecs, ils ne sont rien d'autre que d'épouvantables « barbares ». Or dans l'Antiquité, le terme « scythe » concerne surtout les populations implantées au nord de la mer Noire (appelée Pont-Euxin par les Grecs), dans la steppe pontique. Ceux que les colons grecs ont côtoyés de près sont ceux que les historiens qualifient parfois de « Scythes européens », pour les distinguer des « Scythes des steppes ».

Ce collier pectoral en or (IVe siècle avant J.-C.), pesant plus de 1 kg et mesurant 30 cm de diamètre, a été découvert dans le kourgane royal de Pokrov, Ukraine.

GETTY IMAGES

Les Scythes recouvraient en fait plusieurs cultures de l'âge du fer (VIIIe-IIe siècle avant J.-C.) qui ont dominé l'Asie centrale. *« Cette dénomination unique est une appellation de convention que les historiens et les archéologues ont empruntée aux Grecs. Dans les faits, ces populations étaient appelées différemment selon les régions. Dans les inscriptions royales des Perses achéménides, ils sont par exemple qualifiés de Sakkas »*, précise Henri-Paul Francfort, directeur de recherche émérite au CNRS, responsable de la Mission archéologique française en Asie centrale. Et le territoire de ces cavaliers, pasteurs nomades et archers redoutables s'étirait sur des milliers de kilomètres, des rives de la mer Noire à celles du fleuve Jaune, en Chine ! Ils ont ainsi multiplié les contacts avec les grandes civilisations contemporaines d'Eurasie (Grecs, Perses, etc.). Leur dimension légendaire est due entre autres aux immenses tertres funéraires (kourganes) qu'ils érigeaient et d'où ont été exhumés de prodigieux trésors. Mais aussi aux mythiques Amazones, sans doutes inspirées des Scythes européens.

AKG IMAGES

Les Scythes étaient de redoutables guerriers. Ils combattaient le plus souvent à cheval, équipés d'arc et de lances (illustration).

Une histoire demeurée longtemps mal connue

Pourtant, l'histoire des Scythes, qui court sur près d'un demi-millénaire de la transition entre l'âge du bronze et celui du fer où ils apparaissent vers 800 avant J.-C., jusqu'à leur déclin autour de 250 avant J.-C., est longtemps demeurée mal connue. Et ce malgré les informations transmises par les sources épigraphiques grecques, romaines, perses ou chinoises. Malgré aussi les formidables découvertes archéologiques dont certaines ont été réalisées dès le règne du tsar Pierre le Grand (1672-1725). De même, les liens entre les diverses cultures scythes évoluant dans les vastes plaines de l'Asie centrale sont longtemps demeurés assez flous. *« Mais depuis 2015, la*

MOMIE

La princesse tatouée de l'Oukok

Sur le plateau de l'Oukok, au pied des montagnes de l'Altaï (Sibérie), ont été localisées en 1996 plusieurs tombes gelées. Dans l'un des kourganes où étaient inhumés six chevaux, figurait aussi la dépouille d'une jeune femme entièrement tatouée de la culture de Pazyryk *(photo ci-contre)*. Âgée d'une vingtaine d'années, la « princesse de l'Oukok » est l'une des plus célèbres découvertes archéologiques du XXe siècle. Elle prouve que, chez les Scythes, des femmes faisaient partie de l'élite. Du bois, du bronze, de l'or, du cannabis et des graines de coriandre ont également été recueillis dans son kourgane.

ZARITOVSKIY YURIY/SPUTNIK/AFP

génétique est venue tout bousculer », déclare le paléogénéticien Ludovic Orlando, directeur de recherche au CNRS, directeur du Centre d'anthropobiologie et de génomique de Toulouse (CNRS et université Paul Sabatier), spécialiste de ces régions qu'il parcourt régulièrement. Lui-même est le coauteur d'analyses génomiques des peuples de la steppe publiée dans la revue *Nature* en 2015 et 2018. Autant de travaux pionniers que vient préciser une toute nouvelle étude. Réalisée par une équipe internationale de généticiens, d'anthropologues et d'archéologues dirigée par des scientifiques du département d'archéogénétique de l'Institut Max-Planck pour l'histoire de l'humanité, à Iéna (Allemagne), elle vient éclairer une histoire complexe. Menée sous la direction de Guido Alberto Gnecchi Ruscone, elle s'appuie sur l'examen à l'échelle génomique de 111 individus provenant de 39 gisements des principales cultures archéologiques scythes et non scythes présentes en Asie centrale (Kazakhstan) au Ier millénaire avant notre ère. « *Les résultats obtenus attestent que d'importants changements génétiques ont eu lieu parmi les populations qui vivaient dans la steppe à la fin de l'âge du bronze. Vers 800 avant J.-C, on voit la composition génétique des groupes sédentaires d'éleveurs qui s'y trouvaient changer au profit de celles qui accompagneront la naissance des cultures nomades* », résume Ludovic Orlando.

Des rencontres entre groupes inscrites dans l'ADN

« *Ces derniers travaux sont même allés plus loin en identifiant au moins deux sources principales à l'origine de ces nomades de l'âge du fer* », poursuit le généticien. Des conclusions très différentes de ce que l'on se représentait jusque-là, puisque le consensus scientifique voulait que les migrations scythes soient allées d'ouest en est, c'est-à-dire des régions du Pont-Euxin en direction de la steppe… Or, il n'en est rien. Ce qui s'est en revanche passé, c'est qu'un flux oriental dont la source se situe parmi des populations des montagnes de l'Altaï, s'est, au cours de l'âge du fer, diffusé en direction de l'ouest ; alors qu'un second, venant du sud-ouest, de territoires situés en bordure de l'actuel Iran, est remonté vers l'Asie centrale, au nord-est *(voir la carte page ci-contre)*. Ce sont ces deux flux venus de l'est et du sud qui se sont mélangés au fur et à mesure des migrations, en se mêlant aux peuples rencontrés sur leur route. On les retrouvera ainsi jusqu'au pied de la chaîne du Tian Shan au nord-est de la Chine. « *Les Scythes du Tian Shan ont été le fruit d'un métissage largement influencé par des populations de l'est, comme tous les Scythes qui peuplaient la steppe kazakhe à l'âge du fer, auquel s'est ajouté l'apport de populations méridionales, en provenance de l'Iran* », ajoute le chercheur. Un double métissage. « *Les rencontres des hommes et des femmes qui se sont déplacés et se sont mélangés sont ainsi inscrites dans leur ADN.* »

Ce peigne en or orné de guerriers provient du kourgane de Solokha, près de Nikopol en Ukraine (IVe siècle avant J.-C.).

FINEARTIMAGES/LEEMAGE

Ces données recoupent celles furnies par l'archéologie. Elles suggèrent une expansion des populations depuis les régions de l'Altaï, où ont été rencontrées les plus anciennes sépultures scythes. Celles des cultures localement baptisées Sakka, Tasmola ou Pazyryk dans l'actuel Kazakhstan. Ainsi, en est-il du plus vieux kourgane scythe connu, Arzhan 1, daté du VIIIe siècle avant J.-C., ou encore du spectaculaire Arzhan 2 (VIe siècle avant J.-C.), un autre

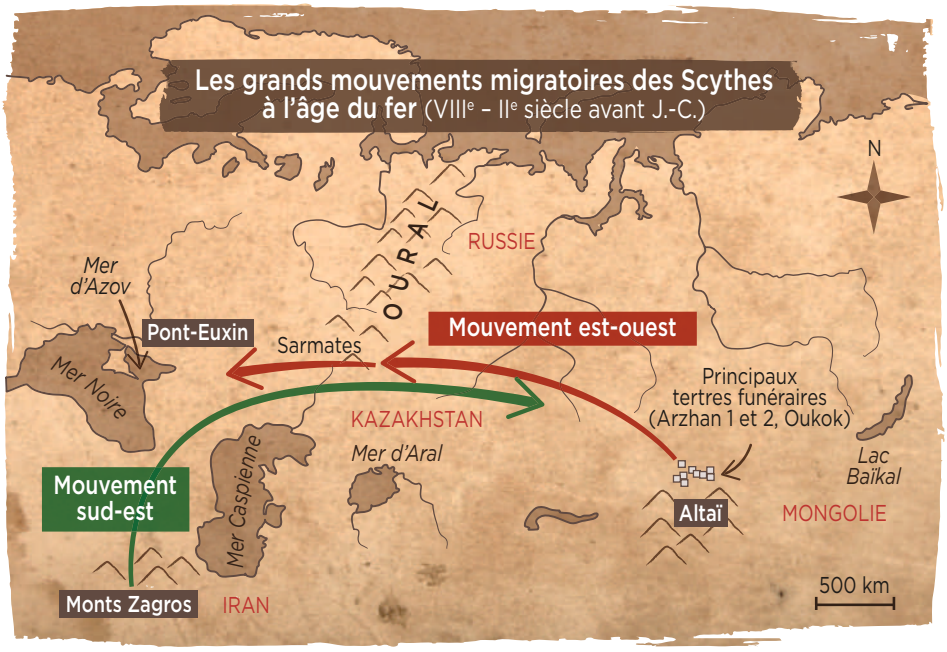
fascinant tumulus duquel plus de 40 kg d'or furent extraits. Le métal précieux abondait tellement que la fouille avait dû être effectuée sous protection armée ! *(Lire l'encadré ci-contre.)* « *Des objets scythes d'une grande richesse artistique, obtenus au contact de l'art grec ou perse achéménide* », détaille Henri-Paul Francfort. L'art scythe, essentiellement mobilier, a en effet livré des milliers de trésors d'orfèvrerie, de toreutique (art de la gravure ou du martelage des métaux), ou encore textiles, à l'image des éblouissants tapis de Pazyryk (Sibérie), dont un exemplaire très bien conservé est considéré comme le plus vieux du monde. Outre ces richesses matérielles, les fouiles ont révélé des croyances dans un monde surnaturel. Ainsi, les rites funéraires mobilisaient de nombreux animaux psychopompes, c'est-à-dire chargés de transporter les âmes des défunts dans l'au-delà. Ce qui explique les véritables hécatombes de chevaux : plus de 100 de ces animaux étaient parfois sacrifiés pour une seule sépulture !

RITES FUNÉRAIRES

Arzhan 2, le kourgane inviolé aux 40 kg d'or

Cette tombe d'un prince scythe a été étudiée pour la première fois en 1996 dans la république de Touva, au sud de la Sibérie. Un homme d'une quarantaine d'années et une femme de 35 ans reposaient sous le tertre funéraire de 80 m de diamètre. L'homme portait un torque en or massif pesant 1,5 kg, décoré de frises d'animaux (panthères, bouquetins et chameaux). Sous sa tête, des plaques de tôle d'or étaient décorées de chevaux et d'un cerf bramant. Une cape descendant jusqu'à sa taille comprenait 2500 figurines de félins moulées dans le métal précieux. L'homme portait en outre un poignard en fer à la lame incrustée d'or, en plus d'un carquois rempli deflèches. La femme qui l'accompagnait était richement vêtue. Il semble que chez les Scythes, les épouses étaient souvent sacrifiées pour rejoindre leur mari dans la mort.

« *Ce que les récentes analyses génétiques révèlent également, c'est que les groupes scythes présents à l'ouest des montagnes de l'Oural descendent quant à eux d'un autre métissage qui a eu lieu à peu près en même temps, mais à partir d'une source distincte,* détaille Ludovic Orlando. *Contrairement au cas oriental, le pool de gènes occidental, caractéristique des premières cultures sarmates (ex-Sauromates)* [autres groupes scythes], *est resté largement cohérent dans la propagation vers l'ouest des cultures de l'Oural en direction de la steppe pontique et de la mer Caspienne.* »



BRUNO BOURGEOIS

Une récente étude fondée sur la génétique a permis d'établir qu'il y a eu deux flux migratoires scythes, au lieu d'un seul jusque-là admis : l'un de l'est vers l'ouest ; l'autre du sud-ouest vers le nord-est.

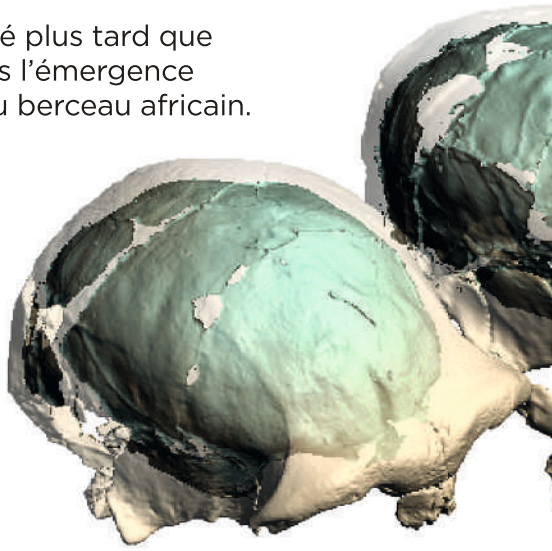
Une partie de l'étude couvre aussi la période de transition qui a succédé à l'âge du fer : celle du déclin puis de la disparition des Scythes des plaines centrales. Elle révèle de nouvelles modifications génétiques. « *Un nouvel afflux d'Eurasie extrême-orientale est vraisemblablement associé à la propagation des empires nomades de la steppe orientale au cours des premiers siècles de notre ère, tels que les confédérations Xiongnu et Xianbei (Chine), ainsi qu'à des afflux mineurs de sources perses probablement liés à l'expansion de la civilisation achéménide* », précise Ludovic Orlando. « *Grâce à l'ADN des hommes et des femmes qui constituaient ces peuples, nous découvrons l'histoire génétique des Scythes, et la façon dont ces groupes se sont mélangés — ou ignorés — pendant des siècles, au cœur de la steppe* », conclut le généticien.

Une autre relecture de la construction du monde

Bien que de nombreuses questions demeurent, ces nouveaux travaux démontrent à quel point les populations d'Eurasie ont changé et se sont mélangées au fil des siècles. Finalement, vers 250 avant J.-C., les Scythes en tant que tels ont été évincés par d'autres groupes de cavaliers nomades. Aux premiers siècles de notre ère, la steppe est occupée par des Sarmates, Alains et Huns. Pour Ludovic Orlando « *plus que de l'histoire, la génétique nous offre désormais une autre relecture de la construction du monde* ». ■

Et le cerveau moderne fut…

Le cerveau humain moderne s'est développé plus tard que les scientifiques ne le pensaient, bien après l'émergence du genre « Homo » et même après sa sortie du berceau africain.



En s'appuyant sur des images numérisées, les chercheurs ont pu reconstruire virtuellement les structures internes de ces 5 crânes d'« Homo » provenant du site de Dmanisi (Géorgie).

M. PONCE DE LEÓN AND CH. ZOLLIKOFER, UNIVERSITY OF ZURICH

Pour s'aventurer hors d'Afrique, explorer de nouveaux continents, les premiers globe-trotters de la préhistoire n'ont pas eu besoin de gros cerveaux évolués, permettant de développer un langage ou des outils complexes. Une « *organisation cérébrale primitive* » suffisait, selon l'anthropologue Maria Ponce de Leon, de l'université de Zurich (Suisse). C'est ce que révèle son examen high-tech de cinq crânes d'*Homo erectus* de Dmanisi (Géorgie), ces pionniers du Caucase, qui se sont acclimatés aux montagnes eurasiennes, il y a 1,85 million à 1,77 million d'années.

Identifier le moment précis: un véritable casse-tête

Avec des collègues suisse, français, indonésien, géorgien et américain, la chercheuse a publié en avril dans la revue *Science*, une analyse comparée des cerveaux de grands singes, de ceux des différents ancêtres du genre *Homo* et de ceux d'*Homo sapiens*. Elle en conclut que *« l'agencement cérébral de type humain — avec des aires caractéristiques liées au langage et à la parole — n'est apparu qu'entre -1,7 et -1,5 million d'années, après la dispersion hors du berceau africain »*. Soit 700 000 ans à un million d'années plus tard qu'on ne le pensait ! Contrairement à une idée tenace, il n'aurait donc pas émergé en même temps que le genre *Homo*, il y a environ 2,5 millions d'années *(lire l'encadré p. 112)*. De quoi réécrire nos manuels de préhistoire.

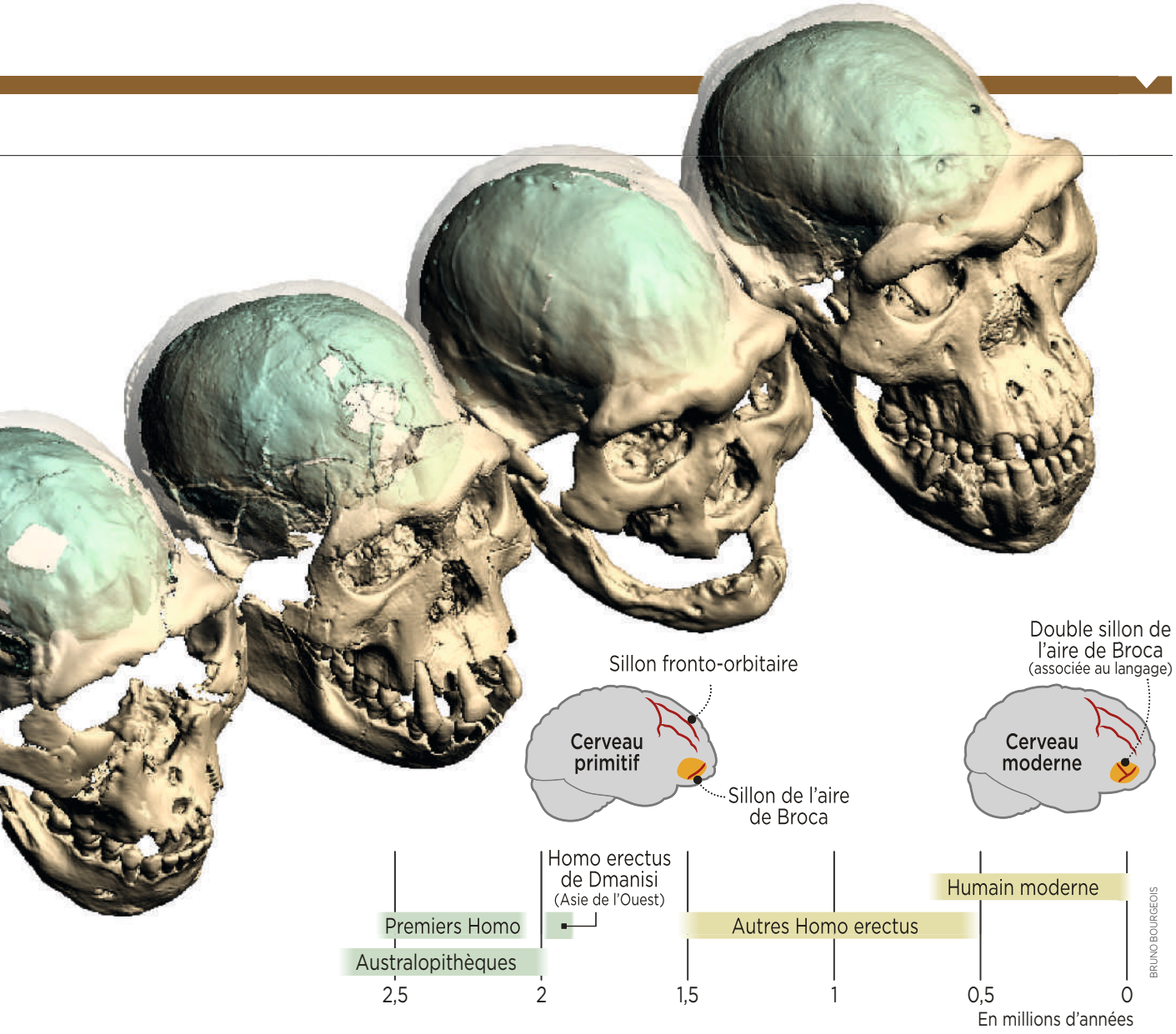
« Nous voulions savoir quand les structures du cerveau qui font de nous des humains ont évolué », explique l'un de ses coauteurs, le paléoanthropologue Christoph Zollikofer, de l'université de Zurich (Suisse). Autant dire résoudre l'une des plus difficiles énigmes de la préhistoire… Car identifier le moment, crucial, où nos ancêtres hominidés se sont dotés de cerveaux semblables à celui des humains modernes est un terrible casse-tête. En effet, les tissus cérébraux se fossilisent rarement. Les changements subtils dans la taille, la forme et l'organisation de l'organe sont déduits à partir de répliques de l'endocrânes, c'est-à-dire de la surface intérieure du crâne. Et l'interprétation de ces différences, aussi délicates que controversées, surtout quand il s'agit d'en déduire les capacités cognitives des différentes espèces, fait cogiter des spécialistes du monde entier.

« Malgré les découvertes de nouveaux spécimens et le réexamen révolutionnaire des archives fossiles assisté par ordinateur, on en sait peu sur le cerveau des premiers Homo, commente la paléoanthropologue Amélie Beaudet, de l'université de Cambridge (Royaume-Uni), qui travaille sur la neuroanatomie des hominidés, mais n'a pas participé à l'étude. *Cette situation s'explique par la rareté des crânes fossiles complets ou partiels de cette période. Les restes humains présumés les plus anciens de Ledi-Geraru (Éthio-*

C. ZOLLIKOFER

« Nous voulions savoir quand les structures du cerveau qui font de nous des humains ont évolué »

Christoph Zollikofer, paléoanthropologue à l'université de Zurich (Suisse), coauteur de l'étude



Le cerveau des humains modernes est plus gros et structurellement différent de celui des grands singes. Il s'en distingue par la taille, la forme et l'organisation corticale, notamment dans les zones du lobe frontal, dont l'aire de Broca, impliquées dans les tâches cognitives complexes, telle que la cognition sociale, la fabrication et l'utilisation d'outils et le langage parlé.

*pie), datés de -2,8 millions d'années, n'ont pas livré de boîte crânienne. Les premiers spécimens d'*Homo *pour lesquels il existe une quantité de données exploitables, permettant la description de l'organisation des aires cérébrales, proviennent de sites africains et asiatiques plus récents datant d'environ -1,8 million d'années. Il y a un trou de 1 million d'années.* » Et une zone d'ombre majeure dans nos connaissances sur l'évolution du cerveau humain. Avant -2,8 millions d'années, les fossiles de préhumains (australopithèques et ardipithèques) arborent de tout petits crânes primitifs. Un million d'années plus tard, chez *Homo*, les lobes frontaux — associés au langage parlé, aux gestes, à la fabrication et l'utilisation d'outils — sont plus développés, ou dérivés (par opposition à primitifs). D'où l'idée, séduisante, que le cerveau de type moderne était apparu en même temps que le genre *Homo*, il y a un peu plus de 2,5 millions d'années. *« De nombreux scientifiques partaient du principe que puisqu'il s'agissait d'*Homo, *il devait y avoir quelque chose de spécial dans son cerveau*, raconte Maria Ponce de Leon. *Pourtant, selon moi, aucune donnée réellement convaincante ne soutenait cette thèse.* » Par l'étude des crânes, la chercheuse et son équipe ont déterminé que les plus anciens d'entre eux, vieux de plus de 1,7 million d'années, présentaient un lobe frontal caractéristique des grands singes. Or, chez les humains, cette zone, où se situe l'aire de Broca associée au langage, est bien plus développée. L'expansion du lobe frontal a d'ailleurs eu pour effet de faire glisser vers l'arrière les autres zones cérébrales, et ce glissement peut être observé sur les fossiles au cours du temps, en repérant les impressions laissées par les démarcations de leurs circonvolutions.

Des modèles numérisés pour comparer

Pour parvenir à ce résultat inédit, les scientifiques ont combiné différentes techniques d'imagerie à haute résolution pour numériser des répliques de la face interne des boîtes cérébrales, afin d'en créer des modèles informatisés. Ils ont cartographié les rainures, sillons, renflements laissés par le cerveau, qui leur donnaient un

aperçu de l'emplacement de certaines régions, clés ou non. En cartographiant les positions relatives de ces points de repère et en les comparant avec les endocrânes d'humains actuels et de grands singes, ils ont tenté de déduire si certaines zones étaient plus ou moins développées par rapport à celles des *H. sapiens* modernes. Un exemple : dans l'aire de Broca, les chimpanzés et les bonobos ont un sillon distinct, appelé le sillon fronto-orbitaire *(voir l'infographie p. 111)*. Celui-ci est absent chez les humains, qui ont à la place deux sillons verticaux. Dans les études évolutionnistes, on suppose donc que les cerveaux des chimpanzés et des bonobos se rapprochent plus étroitement de la condition primitive du cerveau des hominidés. Dans ce contexte, le fait de ne posséder qu'un seul sillon est interprété comme caractéristique d'une condition ancestrale. *« Il y a une grande variation de forme de cette partie du cerveau chez les espèces humaines fossiles et j'ai constaté plusieurs exceptions qui ne rentrent pas dans le schéma assez simple de Ponce de Leon et ses collègues*, pondère le paléoanthropologue Antoine Balzeau, du musée de l'Homme, membre du projet PaleoBrain*, qui vise à ressusciter les cerveaux des *H. erectus* et des néandertaliens. *Il est en fait probable que plusieurs morphologies différentes aient existé chez les humains et que la morphologie des chimpanzés ne soit pas transposable à toutes les espèces humaines anciennes.* »

PHOTO S.ENTRESSANGLE.RECONSTITUTION E.DAYNES / LOOKATSCIENCES

Les « Homo erectus » de Géorgie (autrefois appelés « Homo georgicus ») étaient dotés de cerveaux primitifs. (Reconstitution d'après un crâne mis au jour sur le site de Dmanisi.)

Shawn Hurst, un anthropologue qui étudie l'évolution du cerveau des primates à l'université d'Indianapolis (États-Unis), a justement été frappé par la *« pure variabilité »* de la morphologie cérébrale des humains de Dmanisi, *« qui présente un large éventail de caractéristiques primitives, intermédiaires et humaines au sein d'une même population »*. Il n'en est pas moins circonspect : *« Il existe d'autres repères cérébraux identifiés mais non discutés dans l'article, tels que la position relative d'un autre sillon appelé le sulcus frontal intérieur. »*

Deux dispersions par deux populations différentes

De leur côté, Maria Ponce de Leon et Christoph Zollikofer revisitent l'épopée humaine à l'aune de leur découverte. *« Il doit y avoir eu deux dispersions hors d'Afrique d'*Homo erectus *différents : la première est documentée par les fossiles du site de Dmanisi en Géorgie, il y a environ 1,87 million d'années »*, expliquent les scientifiques. Ces populations d'*Homo* avaient des cerveaux primitifs. La seconde dispersion est documentée par les fossiles de Java, plus récents. Ces populations avaient des cerveaux modernes, ce qui signifie que cette organisation cérébrale est née en Afrique. Et notre genre, *Homo*, a développé un langage complexe et une fabrication d'outils avancée des centaines de milliers d'années plus tard après l'apparition de l'espèce *H. erectus*, réputée être notre ancêtre et celle des humains de Neandertal. ■

Rachel Mulot
@RachelFleaux

* https://paleobrain.jimdofree.com

COGNITION

« Habilis », l'homme privé de parole

La nouvelle analyse écorne sérieusement l'image d'*Homo habilis* (-2,4 à -1,8 millions d'années environ), le premier fossile attribué à l'espèce *Homo*, dans les années 1960, parce que doté de mains propres à tailler des outils et d'un cerveau deux fois plus gros que celui des australopithèques (comme la célèbre Lucy) ou des grands singes. Selon elle, les *H. habilis* ne pouvaient sans doute pas parler, contrairement à l'hypothèse passionnément défendue *(lire* La Recherche, *mars 1980)* par le paléoanthropologue sud-africain Phillip Tobias (1925-2012), l'un de ses découvreurs. Il avait été le premier à émettre l'idée que l'évolution des hominidés avait *« atteint un nouveau niveau d'organisation avec les premiers* Homo » après avoir justement examiné des empreintes cérébrales de spécimens fossiles d'Olduvai (Tanzanie), un site qui a livré un australopithèque robuste et des *Homo habilis* vieux de 1,8 million d'années. Mais ses travaux étaient loin d'être aussi précis.

ÉRIC CRUBÉZY
PROFESSEUR D'ANTHROPOLOGIE BIOLOGIQUE À L'UNIVERSITÉ TOULOUSE-III-PAUL-SABATIER

« Il n'existe pas de tombes préhistoriques »

Entretien avec ce spécialiste des rites funéraires, pour qui l'apparition des premières sépultures marque l'entrée dans l'histoire.

ARNO BRIGNON / SIGNATURES POUR SCIENCES ET AVENIR - LA RECHERCHE

Médecin et anthropologue, Éric Crubézy intervient lors des Rencontres recherche et création au festival d'Avignon.

Votre conférence lors du festival d'Avignon débute sur l'exemple d'une tombe vieille de 60 000 ans ornée de fleurs. Que nous raconte-t-elle ?
Elle nous rappelle que les rites funéraires sont très anciens et ne sont pas l'apanage de notre espèce puisque cette tombe découverte dans la grotte de Shanidar, en Irak, est celle d'un Neandertal. Son existence confirme, avec d'autres, que cette espèce pratiquait bien l'inhumation des défunts. Une idée qui a été discutée pendant plus de cent ans avant d'être admise. Faire la démonstration que des fleurs y ont été déposées n'a pas été évident. Il a fallu notamment que la scientifique française Arlette Leroi-Gourhan détermine la concentration des pollens. Pour ma part, j'ai exploré d'autres tombes, appartenant cette fois à *sapiens*, où cela a été plus facile. Par exemple, dans l'une d'entre elles en Égypte, vieille de 5000 ans, j'ai retrouvé les restes d'un bouquet.

Dans votre dernier livre*, vous expliquez que les fleurs font partie des nombreux rituels autour des défunts. Comment ceux-ci se structurent-ils ?
Même s'il y a une grande variabilité des rites face à la mort, on peut isoler trois étapes. La première consiste à voir le corps afin de comprendre que le sujet est décédé. Il s'agit d'observer un corps resocialisé — habillé chez nous — qui restera dans la mémoire des proches. Ensuite, ce corps est caché, que ce soit dans une tombe ou par une crémation qui le fait disparaître. Pourquoi cacher ? C'est l'un des problèmes les plus difficiles à résoudre. Voir permet de commencer à saisir l'absence, mais comprendre la mort est impossible, c'est sans doute pour cela qu'à un moment donné il faut cacher. Enfin, il y a la sacralisation qui métamorphose le sujet en défunt. Elle peut être uniquement psychique, quand il ne reste aucune trace d'un corps, dont les cendres ont été dispersées par exemple dans un fleuve, mais elle peut aussi s'appuyer sur des éléments matériels. La tombe est ainsi un lieu de séparation entre les vivants et les morts.

Peut-on remonter aux origines de cette typologie funéraire ?
Pour ce qui a trait à l'observation, on peut citer en exemple certains grands singes qui s'attardent autour du cadavre de leurs proches et semblent attristés. Au bout d'un moment, ils abandonnent le corps : s'agit-il des prémices du « cacher » ? Difficile à dire ? En revanche, la sacralisation implique l'imaginaire, penser au défunt, en parler. En résumé, faire de l'histoire. C'est pour cela que j'ai écrit qu'il n'existe pas de tombes préhistoriques : avec la tombe, la métamorphose, et donc l'histoire, a déjà commencé.

Certains logiciels permettent maintenant d'animer les photos de disparus et en quelque sorte de faire revivre les défunts, qu'en pensez-vous ?
Cela me laisse assez perplexe. Disons que si le deuil est fait ou qu'il s'agit de faire revivre un personnage historique comme Napoléon, cela ne pose pas de problème. En ce qui concerne les proches, l'évolution a sélectionné des comportements variés mais nécessaires pour faire admettre aux gens le décès de l'autre. Ces techniques qui veulent le faire revivre alors que le deuil n'est pas accompli me semblent aller dans le mauvais sens. ■

Propos recueillis par Joël Ignasse
@IgnasseJ

* *Aux origines des rites funéraires : voir, cacher, sacraliser*. Odile Jacob, 2019.

PARTENARIAT SCIENCES ET AVENIR

« La mémoire du futur » au festival d'Avignon

L'Agence nationale de la recherche (ANR) et le festival d'Avignon organisent la 8e édition des Rencontres recherche et création sur « la mémoire du futur », en partenariat avec *Sciences et Avenir*, les 8 et 9 juillet. Inscription et programme à retrouver sur **www.recherche-creation-avignon.fr**

BERNARD MARTINEZ POUR SCIENCES ET AVENIR-LA RECHERCHE

ÉRIC GUILYARDI
OCÉANOGRAPHE PHYSICIEN ET CLIMATOLOGUE

« L'océan est un thermostat géant pour la planète »

Le chercheur Éric Guilyardi revient sur le rôle majeur des océans. Ceux-ci font l'objet d'une attention toute particulière des experts du climat du Giec qui publient le premier volet de leur 6e rapport début août.

Pourquoi les climatologues parlent-ils de « l'océan » au singulier ?

Pour le climat, toutes les masses d'eau de l'océan sont connectées et le rôle de ce dernier au sein de la « machine climatique » est global : il n'y en a donc qu'un. En revanche, la géographie distingue les océans Atlantique, Pacifique et Indien et de nombreuses mers (nordiques, Méditerranée...) qui sont séparés par des continents, reliés par des détroits et canaux et qui sont le théâtre historique et actuel des activités humaines. Le rôle climatique de l'océan et ses déclinaisons régionales suivent un autre découpage : la latitude, l'océan Austral, la distribution des masses d'eau en profondeur, les bords est et ouest des bassins, etc. Les impacts du changement climatique font appel à une combinaison de la géographie et du climat.

Quelle est son interaction avec l'atmosphère ?

Les tropiques reçoivent davantage de chaleur que les plus hautes latitudes. Pour avoir un système stable, cet excès de chaleur est transporté vers les Pôles. Ce rôle est assuré par les deux enveloppes fluides de la planète que sont l'atmosphère et l'océan. Celui-ci est le principal contributeur dans les tropiques et subtropiques, et l'atmosphère prend le relais aux moyennes et hautes latitudes.

Pourtant, si l'océan et l'atmosphère travaillent de concert, ils n'ont pas les mêmes propriétés climatiques. Dans le couple formé avec l'atmosphère, l'océan est le partenaire lent car il possède une forte inertie thermique : ses deux à trois premiers mètres contiennent autant de chaleur que l'ensemble de la colonne atmosphérique qui le surplombe (soit environ 80 kilomètres). Profond de 4000 mètres en moyenne, son inertie thermique est donc gigantesque, et en fait le véritable réservoir de chaleur de la machine climatique.

De plus, l'essentiel de ce réservoir de chaleur est isolé de l'atmosphère. En effet, l'océan est opaque car le flux solaire ne pénètre que de quelques dizaines de mètres. Il est aussi chauffé par le haut, ce qui a tendance à le stabiliser, l'eau chaude restant au-dessus de l'eau froide. L'océan est donc fortement « stratifié », ce qui réduit d'autant les échanges entre l'océan profond et la surface. La différence d'inertie entre l'océan et l'atmosphère fait qu'une dépression atmosphérique a une durée de vie de quelques semaines, alors que l'on peut suivre des tourbillons océaniques à la surface pendant plusieurs années, et que les multiples chemins de la circulation profonde se parcourent en plusieurs centaines d'années.

Quel est le rôle exact de l'océan dans le climat ?

Il est double. D'abord, il régule les mouvements rapides de l'atmosphère, les « lissant » dans le temps et dans l'espace. L'océan est ainsi un thermostat géant pour la planète. Par exemple, la chaleur stockée en été dans l'océan de surface est restituée à l'atmosphère en hiver, ce qui explique par exemple la douceur hivernale du climat océanique de la Bretagne comparé à celui, plus continental, de l'Alsace. Ensuite l'océan joue un rôle majeur dans les variations lentes du climat. Le phénomène El Niño, ce réchauffement des eaux de surface qui survient tous les trois à sept ans dans le Pacifique tropical, illustre particulièrement bien ce rôle de l'océan. À l'échelle décennale, la circulation océanique connaît aussi des soubresauts qui laissent leurs marques sur le climat planétaire. Nous savons ainsi que les sécheresses au Sahel des années 1970-1980 ont été associées à des températures de surface de la mer plus élevées dans l'Atlantique Nord.

BIO EXPRESS

- **1966** Naissance à Paris.
- **1997** Thèse au Cerfacs (université Toulouse-III) et au Locean (CNRS, Sorbonne Université, IRD, MNHN) sur le rôle climatique de l'océan.
- **2012-2014** Auteur principal du 5e rapport du Giec.
- **2015** Parution de *Que feriez-vous si vous saviez ? des climatologues face à la désinformation*, essai en collaboration avec Catherine Guilyardi (éditions Le Pommier).
- **2018** Directeur adjoint du Locean-IPSL.
- **2018** Élu Highly Cited Researcher.
- **2020** Président de l'Office for Climate Education, qui développe des ressources pédagogiques pour les enseignants.

Que change la hausse des émissions humaines de gaz à effet de serre ?
L'océan, grâce à son inertie et ses masses d'eau profondes, absorbe plus de 90 % du réchauffement additionnel et environ 30 % du dioxyde de carbone que nous émettons. Depuis trente ans, la chaleur absorbée a plus que doublé. Le réchauffement sur les deux premiers kilomètres de colonne d'eau s'est opéré principalement autour de l'Antarctique, région qui a absorbé entre un tiers et la moitié de la chaleur accumulée ces cinquante dernières années. La première des conséquences, c'est que l'eau se dilate en se réchauffant et fait monter le niveau global de l'océan. À ce phénomène thermique, s'ajoute l'apport croissant d'eaux douces provenant de la fonte des glaciers continentaux et des calottes du Groenland et de l'Antarctique. Actuellement, les apports des glaciers et la dilatation thermique provoquent une hausse totale du niveau des mers de 3,6 mm par an. Et ce rythme devrait s'accélérer en raison de l'inertie thermique de ces masses d'eau et ce même en cas de forte diminution des émissions de gaz à effet de serre.

Aujourd'hui, qu'observe-t-on ?
La chaleur étant principalement absorbée par les couches de surface, la différence de température avec les zones plus profondes s'accentue, si bien que les échanges verticaux d'eau se font plus difficilement. L'océan se stratifie encore plus, en particulier dans ses 200 premiers mètres. En conséquence, les nutriments ne remontent plus des profondeurs et le dioxygène pénètre moins depuis la surface, une conjonction qui affecte la vie biologique. On constate également une augmentation des « vagues de chaleur marines » qui voient la température de l'eau augmenter de plus de 2 °C au-dessus de la normale pendant plus de cinq jours, ce qui affecte des écosystèmes marins comme les coraux. Enfin, l'absorption de dioxyde de carbone, résultat de la combustion des énergies fossiles, acidifie l'océan avec là aussi un impact sur la vie marine.

BERNARD MARTINEZ

« Les apports des glaciers ainsi que la dilatation thermique provoquent une hausse totale du niveau des mers de 3,6 mm par an »

Les tempêtes seront-elles plus fréquentes ?
Pour les cyclones tropicaux, la synthèse du Giec (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) indique une diminution de leur nombre mais une intensification des plus puissants. En effet, l'eau chaude de l'océan est la source d'énergie des cyclones, et la stabilité de l'atmosphère est nécessaire à leur formation. Le réchauffement de l'océan entraîne donc un « moteur » des cyclones plus puissant, mais les scénarios montrent aussi que l'atmosphère devient plus instable limitant donc leur nombre.

Quels sont les impacts sur les activités humaines que l'on doit le plus anticiper ?
L'élévation du niveau de l'océan va affecter le quart de l'humanité qui vit à moins de 100 km des rivages et à quelques dizaines de mètres au-dessus du niveau de la mer. Les tempêtes et cyclones plus forts, produisant leurs effets plus loin à l'intérieur des terres, vont augmenter les risques pour les populations, en particulier les plus vulnérables. La ressource halieutique est un autre sujet de préoccupation, même si d'autres facteurs interviennent. Sous l'effet du changement dans l'océan, les poissons se déplacent vers le nord à un rythme de plusieurs kilomètres par an. L'acidification des eaux affecte la coquille des animaux à la base de la chaîne alimentaire, comme le zooplancton. Selon les scénarios, ce déclin de la production primaire pourrait

Les 2 à 3 premiers mètres de l'océan contiennent autant de chaleur que la colonne atmosphérique qui les surplombe sur 80 km d'altitude.

POUR EN SAVOIR PLUS

Retrouvez Éric Guilyardi dans le numéro de l'été des *Indispensables de Sciences et Avenir – La Recherche* (n° 106) consacré aux grandes découvertes scientifiques qui ont bouleversé le monde, des rayons X à l'atome, des trous noirs à Pompéi, en passant par le réchauffement climatique. Il y évoque les découvertes permises par l'étude de l'impact de l'humain sur le climat. Ce numéro permet aussi de découvrir qu'Einstein n'était pas un génie solitaire, pas plus que Galilée, Newton ou Marie Curie. Les historiens montrent au contraire que découvrir est une aventure collective, où le hasard donne parfois un coup de pouce.

JUAMPITER/GETTY IMAGES

entraîner, d'ici à 2100, une diminution de 15 % de la biomasse globale de tous les animaux marins, dont ceux dont les humains se nourrissent. Les écosystèmes côtiers comme les marais, lagunes, mangroves, récifs coralliens sont menacés à la fois par l'augmentation de la température, les vagues de chaleur marines et la force accrue des cyclones. Ces milieux naturels d'une grande biodiversité sont aussi des barrières efficaces contre l'élévation du niveau de la mer et les événements extrêmes.

Les scientifiques peuvent-ils réellement faire la part entre ce qui est un phénomène météorologique naturel et un événement exacerbé par le changement climatique ?

C'est un secteur de recherche qui s'est ouvert il y a une quinzaine d'années. Les scientifiques l'appellent « l'attribution des événements extrêmes ». Dans quelle mesure une forte canicule, une inondation majeure, un ouragan exceptionnel ont-ils été en partie provoqués par le réchauffement climatique ? Pour répondre à cette question, nous faisons des simulations avec et sans effet anthropique et analysons les différences de probabilité d'avoir de tels événements. On trouve par exemple que la tempête « centennale » dans une région donnée peut désormais se produire tous les dix ans ou que la durée des canicules passe de 3 jours par an en France avant les années 1990 à 6 ou 7 aujourd'hui… et 30 dans le futur selon les scénarios sans baisse des émissions. ■

Propos recueillis par Loïc Chauveau

@Loic_Chauveau

BRUNO LÉVY

Éthique

PAR JEAN-GABRIEL GANASCIA *

De la pandémie à l'apatridie…

Le passeport sanitaire fait couler beaucoup d'encre. Certains craignent qu'il exclue des citoyens de la vie sociale — des philosophes vont même jusqu'à évoquer la possibilité, effrayante entre toutes, d'apatrides sanitaires —, d'autres s'inquiètent de l'absence de consentement au soin qu'il implique ou encore de la centralisation des données de santé. Ces réactions étonnent, car le certificat international de vaccination ou de prophylaxie, dit aussi carte jaune, existe depuis près d'un siècle ; il est nécessaire pour voyager dans certaines zones du globe, dont la Guyane française. N'étant pas encore parvenus à éradiquer le Sras-CoV-2 responsable du Covid-19, nous devons accepter de vivre avec. Dans ce contexte, le passeport sanitaire aide à reprendre notre vie sociale, à rouvrir les salles de spectacle, les restaurants et les magasins, enfin, et surtout, à voyager à l'étranger, en dépit de la présence du virus. Comment dès lors ne pas l'accueillir avec joie ? Rappelons, pour ceux qui redoutent la restriction des libertés, qu'aux termes de l'article 4 de la Déclaration des droits de l'homme et du citoyen de 1789, *« la liberté consiste à pouvoir faire tout ce qui ne nuit pas à autrui »*. S'assurer qu'une personne ne transmet pas le virus et, par-là, ne nuit pas à autrui, ne restreint donc pas sa liberté. Quant à la centralisation des données personnelles de santé, elle existe déjà avec le système de santé français auquel nous sommes tous attachés. Toutefois, le passeport sanitaire, pose trois questions. La première est relative à l'interopérabilité des technologies adoptées, afin de permettre à ceux qui en disposeront de voyager. La deuxième, plus scientifique, porte sur les informations — vaccination, résultats des tests PCR, antigéniques, etc. — qui assurent l'absence de contagiosité. Enfin, la troisième, d'ordre éthique, tient à la confidentialité et à la proportionnalité de ces informations qui demanderont à être détruites une fois la pandémie passée. ■

> « S'assurer qu'une personne ne transmet pas le virus et, par-là, ne nuit pas à autrui, ne restreint pas sa liberté »

* Président du comité d'éthique du CNRS, professeur à Sorbonne Université, à Paris, chercheur en intelligence artificielle au LIP6 (Sorbonne Université, CNRS). Dernier ouvrage publié : *Le Mythe de la singularité. Faut-il craindre l'intelligence artificielle ?* Le Seuil, 2017.

« Le cerveau ne prend pas de vacances »

L'humain n'utilise pas les mêmes parties du cerveau quand il décide ou quand il raisonne, explique le chercheur Mathias Pessiglione, qui révèle les défauts de rationalité de nos choix.

JP PARIENTE/ICM

Mathias Pessiglione est directeur de recherche Inserm à l'Institut du cerveau à Paris où il est coresponsable de l'équipe Motivation, cerveau et comportement, spécialisée en neuro-imagerie et neuropsychologie humaine.

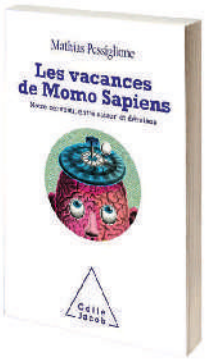
« Le cerveau a ses raisons que la raison ne connaît pas. Le paradoxe vient de ce que les processus cérébraux qui motivent les décisions sont différents de ceux qui les valident *a posteriori*. Pourquoi ? Parce que le cerveau a appris à prendre des décisions bien avant qu'il ne se mette à parler, à raisonner, à appliquer la logique. C'est vrai à l'échelle de l'individu, mais aussi à celle de l'évolution. Nombre d'espèces qui n'ont pas nos capacités de raisonnement prennent des décisions. Leurs cerveaux ont hérité d'une architecture fonctionnelle que nous partageons en partie, et qui déterminent certains de nos travers.

Dans *Les Vacances de Momo Sapiens*, je place à chaque début de chapitre le personnage dans une situation où il est amené à prendre des décisions. Le principe du livre, c'est d'exposer parmi les biais possibles dans la décision ceux sur lesquels les neurosciences ont des hypothèses quant aux mécanismes cérébraux impliqués. Cela permet d'expliquer au moins en partie les défauts de rationalité dans les choix que nous faisons. On sait ainsi que juste derrière le front, entre les deux yeux, le cortex orbitofrontal est une structure essentielle pour l'attribution de valeurs, car c'est de là que l'attention se porte pour évaluer les différentes options. Si cette structure est lésée lors d'un accident vasculaire cérébral (AVC) par exemple, les patients ne parviennent plus à attribuer de valeurs aux options et leurs décisions deviennent incohérentes, ce qui constitue le critère fondamental de l'irrationalité.

Mais même avec un cerveau normal, ces "erreurs" surviennent car le cortex orbitofrontal est aussi très perméable aux influences extérieures. De sorte que des facteurs cachés dans le contexte peuvent s'intégrer dans l'évaluation des options. Lors d'expériences où on demande à des sujets d'évaluer un tableau, on sait qu'une musique diffusée en fond va influer sur le jugement et les notes attribuées à l'œuvre, positivement ou négativement. Parce que cette mélodie va changer l'activité du cortex orbitofrontal préalable à la rencontre avec le tableau. Et conditionner ainsi la façon dont on apprécie celui-ci. Ce qui se joue au niveau cérébral va désorganiser les préférences dans les choix.

Les réactions émotionnelles peuvent aussi nous rendre irrationnels. La colère, par exemple, va conduire à se battre. Or il se trouve que c'est difficile de se battre si on n'est pas en colère, alors même qu'on aurait probablement raison de le faire (pour la recherche de ressources ou éviter de se faire exploiter). Sauf que l'organisation du monde moderne fait que ce n'est pas toujours adapté bien sûr, et qu'il faut réguler ses émotions.

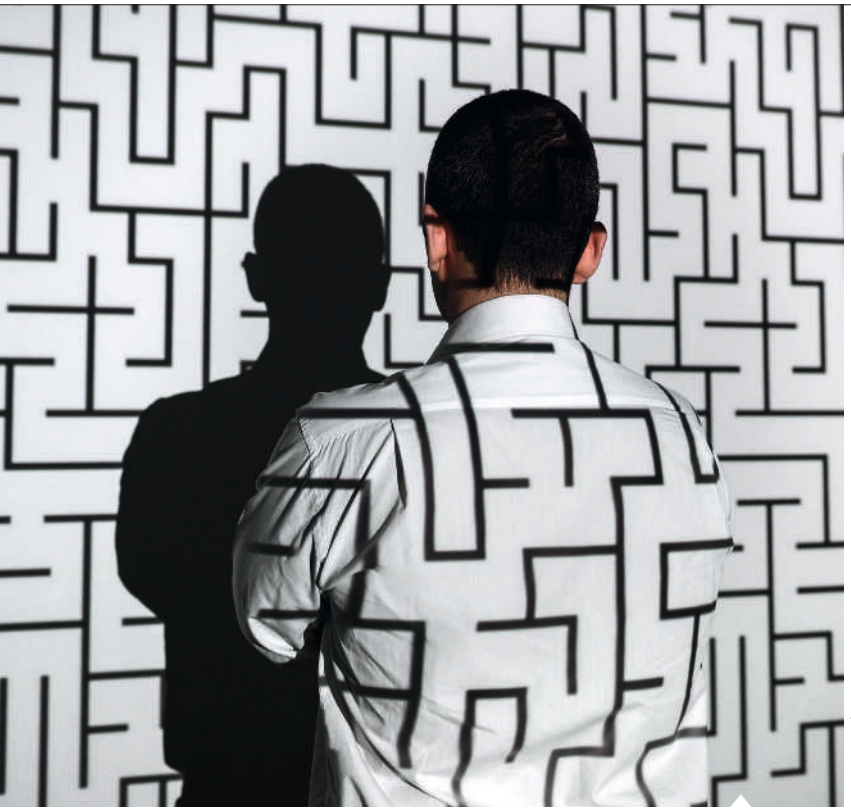
Les neurosciences cognitives se sont ainsi beaucoup intéressées à la fonction de contrôle cognitif prise en charge, elle, par le cortex préfrontal latéral situé derrière les tempes. Il s'agit de réguler les automatismes pour s'assurer que le comportement est bien conforme au but qu'on recherche à long terme. Or le cerveau est une machine biologique, donc imparfaite. Il existe ainsi une



EXTRAIT

« 93 % des Américains se jugent meilleurs conducteurs que la moyenne, ce qui est bien sûr invraisemblable sur le plan statistique. Ce chiffre illustre un autre biais recensé par les économistes comportementaux : le biais de surconfiance, c'est-à-dire la tendance à surestimer ses propres performances par rapport à ses performances réelles ou par rapport à celles des autres. Ce n'est pas l'apanage des Américains ni des conducteurs automobiles — ce biais est l'un des plus répandus, même s'il varie selon les personnes et les compétences. Il a été rendu responsable de nombreuses catastrophes, du *Titanic* à Tchernobyl. En réalité, la surconfiance a aussi ses vertus… »

Les Vacances de Momo Sapiens, Mathias Pessiglione, Odile Jacob, 336 p., 18,99 €



HOCUS-FOCUS/GETTY IMAGES

Les neurosciences ont montré qu'une région particulière du cerveau, le cortex orbitofrontal, est impliquée dans les choix que nous devons faire face à différentes options.

fatigue du contrôle cognitif qu'on observe dans de très nombreuses situations et qui correspond à une fatigue de régions précises du cortex préfrontal latéral. Des situations d'adaptation, comme une pandémie qui nécessite de s'acclimater à de nouvelles façons de travailler, d'engager des interactions, vont entraîner un surcroît d'activité de ces régions. Si la fonction est trop sollicitée, elle s'épuise. L'une des hypothèses formulées à partir d'imageries cérébrales, c'est que par exemple, au cours d'une journée de travail cognitif intense, on accumule des dérivés métaboliques de l'activité neurale dans le cortex préfrontal latéral qui peuvent être toxiques pour le cerveau s'ils sont trop abondants. On pense donc qu'il y a un dispositif de régulation qui nous empêche d'utiliser cette fonction de contrôle cognitif de façon trop intense ou trop prolongée pour éviter de mettre le cerveau en état de risque sur le plan métabolique. Les vacances, le sommeil ou le repos devraient en principe permettre de restaurer des concentrations normales et donc de récupérer ces capacités de contrôle. » ■

> « Les réactions émotionnelles peuvent nous rendre irrationnels »

Propos recueillis par Hugo Jalinière

@HugoJaliniere

SUR LE MÊME THÈME

Une pensée à double détente

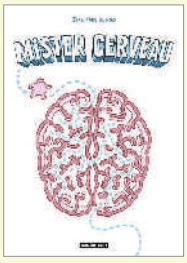
SYSTÈMES Aux confins de la psychologie et de l'économie, le lauréat 2002 du prix Nobel d'économie Daniel Kahneman présente les deux systèmes de la pensée qui, dans le cerveau, concourent à influer sur nos choix et nos jugements. Le premier, « Système 1 » est rapide, intuitif et émotionnel ; tandis que le second « Système 2 » est plus lent mais plus réfléchi, contrôlé et finalement plus logique. Au travers de multiples exemples et expériences issus d'une vie de recherche, l'auteur déconstruit ainsi la façon dont nous prenons nos décisions. **H. J.**

Les Deux Vitesses de la pensée, Daniel Kahneman, Flammarion, 560 p., 25 €

Les pièges de la rationalité

CHOIX Conçu à partir de nombreuses expériences scientifiques, le livre est un classique pour comprendre les raisons cachées de nos choix. Expert en psychologie et économie comportementale à l'université Duke aux États-Unis, Dan Ariely y détaille des situations très concrètes où nos décisions, sous des airs d'évidence, virent à l'absurde. Un petit manuel à l'écriture vivante pour confronter nos propres décisions aux nombreux biais qui les composent. **H. J**

C'est (vraiment ?) moi qui décide, les raisons cachées de nos choix, Dan Ariely, La clé des Champs, 282 p., 8 €



Voyage au centre du cortex

BD C'est une sorte de reportage dessiné en immersion dans le cerveau auquel nous invite l'illustrateur Jean-Yves Duhoo. Servi par un coup de crayon pétillant et un humour fin, cette exploration du cortex humain se révèle un exercice de vulgarisation de haute volée où la technicité scientifique du sujet n'est jamais escamotée. *« Une très grande réussite »* pour l'éminent neurologue Lionel Naccache qui préface cette BD, aussi ludique qu'instructive. **H. J.**

Mister Cerveau, Jean-Yves Duhoo, Casterman, 80 p., 16 €

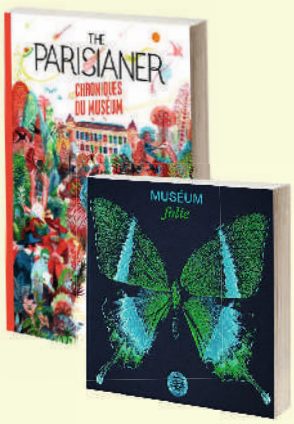
BERNARD MARTINEZ POUR SCIENCES ET AVENIR - LA RECHERCHE

« The Parisianer », magazine imaginaire décline l'histoire du Muséum sous la forme d'un délicieux album.

Le Muséum se livre

Dans deux ouvrages au ton volontairement décalé, le Muséum national d'histoire naturelle de Paris retrace les faits marquants de l'histoire du vivant.

ÉPOPÉE Un petit vent de folie agite la vénérable institution : le Muséum national d'histoire naturelle de Paris édite coup sur coup deux livres qui renouvellent les codes de son image et mettent en valeur ses collections. Le premier décline figures et événements marquants de l'épopée du vivant à travers les couvertures d'un magazine imaginaire, *The Parisianer. Chroniques du Muséum*. Cet album délicieusement surprenant a été conçu par un duo de directeurs artistiques inventeur en 2013 du concept d'une série de couvertures sur Paris dans le style du célèbre *The New Yorker*. Vingt récits s'y succèdent autour de unes évocatrices à l'allure rétro, imaginées par des artistes du dessin de presse ou de la BD, où s'entremêlent faits scientifiques, humour, et inventions narratives.



Les deux auteurs des textes, spécialistes de vulgarisation scientifique, se coulent tour à tour dans la peau d'un chroniqueur mondain assistant, en 1827, à l'arrivée à Paris de la girafe offerte à Charles X, d'une journaliste de mode en visite à l'atelier de taxidermie ou d'un planétologue nommé Thomas Pesquette relatant la vie d'une colonie humaine sur Mars. Lorsque la fantaisie croise la science, elle dessine un nouveau chemin pour la compréhension du monde, que *Muséum folie* — le second ouvrage publié par le musée — balise tout en beauté. Le végétal, le minéral, les fossiles, la préhistoire, l'anthropologie, les œuvres d'art issues de la recherche, sélection d'un patrimoine de près de 68 millions de spécimens, sont mis en scène tels des trésors dans un élégant écrin. Ici éclatent la qualité exceptionnelle des photos sur papier brillant, la sobriété efficace des fiches descriptives rédigées par les chercheurs du Muséum, la sensation, un peu folle, oui ! que l'on vous dévoile les secrets de la vie sur Terre. ■

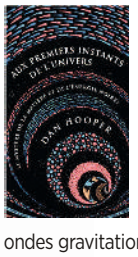
Andreina De Bei

The Parisianer. Chroniques du Muséum, collectif, éd. du Muséum national d'histoire naturelle, 64 p., 25 €

Muséum folie, Guillaume Lecointre, éd.du Muséum national d'histoire naturelle, 408 p., 39 €

À l'aube du cosmos

ORIGINES L'Univers est né il y a 13,8 milliards d'années, lors du Big Bang qui vit jaillir le temps, l'espace, l'énergie et la matière. Dan Hooper, astrophysicien américain, nous amène au plus près de cet instant extraordinaire. S'il ne peut décrire ce qui échappe encore à la science, l'auteur nous montre comment l'utilisation des ondes gravitationnelles, du collisionneur de particules (LHC), et de la physique théorique poussée dans ses retranchements pourrait nous donner quelques pistes pour entrevoir l'aube du cosmos. Hooper reste prudent face à ce défi immense, mais il rappelle que la cosmologie a fait des progrès gigantesques ces dernières décennies… Alors, l'espoir est permis. **F. N.**



Aux premiers instants de l'Univers, de Dan Hooper, Quanto, 256 p., 22 €

Le commencement du temps

QUESTIONNEMENT Qu'est-ce que mesurer une durée ? Dans notre environnement immédiat, cela se fait à l'aide d'horloges ultraprécises, mais comment fait-on quand on ne peut pas chronométrer ? On utilise des modèles. C'est ainsi qu'on parvient à évaluer l'âge du Soleil à 5 milliards d'années ou celui de l'Univers à 13,8 milliards d'années. Pour l'Univers, c'est au Belge Georges Lemaître que l'on doit cette idée d'atome primitif — le Big Bang — prémices de l'expansion et qui marque une sorte d'origine cosmique. Reste que tous ces modèles dépendent d'hypothèses fortes qui aboutissent à des résultats différents. C'est la saga de cette difficulté à estimer l'âge de l'Univers — qui ne se mesure pas — que raconte avec brio l'auteur astrophysicien dans ce petit livre. **Ph. P.**

L'Âge de l'Univers, Marc Lachièze-Rey, Humensciences, 256 p., 17 €

Jardin réparateur

BAUME *« Comme un temps suspendu, l'espace protégé du jardin permet à notre monde intérieur et au monde extérieur de coexister… »*. Les bienfaits du contact avec la nature, de faire pousser fleurs et légumes et d'intégrer harmonieusement en soi leur cycle de déclin et renaissance trouvent dans ce livre des accents intimes. Car l'auteure, psychiatre et cocréatrice du Ban Garden, en Angleterre, y relate les

études scientifiques sur les effets réparateurs du jardinage en cas de stress post-traumatique, sur le moral des personnes âgées ou sur les ados en difficulté, mais aussi quantité d'expériences personnelles touchantes. Une écriture qui, comme le jardin, est un baume. **A. De B.**

L'Équilibre du jardinier. Renouer avec la nature dans le monde moderne, Sue Stuart-Smith, Albin Michel, 350 p., 21,90 €

Les Curie, mère et filles

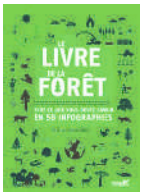
FUSION Elles furent trois et chacune connut à son tour la célébrité : la mère, l'immense Marie, pour ses travaux sur la radioactivité couronnés d'un

double Nobel (1903 et 1911) ; l'aînée des filles, Irène, pour avoir poursuivi dans cette voie et décroché, à son tour, la prestigieuse récompense (1935), pour avoir aussi défendu le droit des femmes ; la cadette, Ève, pour ses talents de pianiste, de journaliste et surtout de diplomate, amie des Roosevelt, engagée dans la France libre et dont la photo fit la une de *Time magazine*. La romancière Claudine Monteil — dont la mère Josiane Serre fut une amie d'Irène — explore les relations fusionnelles entre ces trois femmes qui marquèrent, chacune à leur façon, le XXe siècle. **C. C.**

Marie Curie et ses filles, Claudine Monteil, Calmann-Lévy, 331 p., 19,90 €

La vie des forêts en un coup d'œil

ATLAS GRAPHIQUE Une série de 50 infographies sur les forêts, de l'écosystème forestier au climat en passant par leur exploitation par les humains. Tel est le parti pris visuel de ce livre proposé par l'infographiste allemande Esther Gonstalla qui a déjà signé des livres similaires sur le climat ou les océans. Elle parvient de manière sobre et synthétique à illustrer les problématiques liés à cet environnement particulier,



poumon de notre planète. Une mine d'information fiable qui se feuillette avec intérêt. Indispensable à la prise de conscience du problème que pose la raréfaction de cette ressource, ce livre est à mettre entre toutes les mains. **Ph. P.**

Le Livre de la forêt, Esther Gonstalla, Plume de carotte, 113 p., 24 €

La science dans le bon sens

IDÉES REÇUES Un scientifique est forcément bon en mathématique et planter des arbres permet de lutter contre le réchauffement climatique.

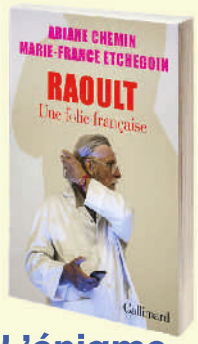
C'est clair, sans ambiguïté. Et faux. Écrit par l'équipe du webzine d'informations scientifiques *Curieux !* ce livre confronte fausses informations, préjugés et autres idées reçues à la réalité scientifique, de la nutrition aux technologies. Autant dire que le projet est précieux, en plus d'être dynamique dans sa conception, avec dessins humoristiques et BD. Vous saurez par exemple que les chiffres arabes sont en fait indiens et que le rat mérite d'être réhabilité. **A. D.**

100 Fake News face à la science, rédaction de « Curieux ! », First Éditions, 240 p., 16,95 €

Des Gaulois sans filtre

« ANCÊTRES » Loin des camps de « Petitbonum » ou de « Babaorum » chers à Astérix, le dernier ouvrage de Dominique Garcia, lorsqu'il évoque les grands *oppida* de la Gaule antique, cet espace inventé par César, nous transporte plutôt du côté de Cenabum (Orléans), Durocortorum (Reims), Lutetia (Paris), ou encore Arelate (Arles). Car c'est à une nouvelle lecture de ce monde gaulois analysé sous l'angle des plus récentes découvertes que nous entraîne l'actuel président de l'Institut national d'archéologie préventive (Inrap), auteur de ce livre destiné aux « 15-95 ans », selon la formule consacrée de cette collection « À l'œil nu » du CNRS. Illustrés par Jérémy Perrodeau, dix grands thèmes sont abordés. De la naissance de la Gaule à la diversité des peuples qui y vivaient en passant par la guerre, les aspects économiques, les pratiques religieuses ou les langues et cultures que l'on y rencontrait. Des articles qui peuvent être lus indépendamment les uns des autres, au gré de la curiosité de chacun. Un livre riche et savant écrit avec générosité. **Bernadette Arnaud**

Les Gaulois à l'œil nu, Dominique Garcia, CNRS éditions, 156 p., 19 €



L'énigme Didier Raoult

PORTRAIT Qui est réellement Didier Raoult ? À cette question sur le célèbre infectiologue, directeur de l'IHU Méditerranée Infection à Marseille, les auteures donnent leur réponse dès l'introduction : un homme *« dévoré par son ego »* qui prétendrait avoir *« 180 points de QI »*, soit 20 de plus qu'Einstein. C'est donc sous ce prisme qu'Ariane Chemin et Marie-France Etchegoin, grandes reporteuses au *Monde*, retracent le chemin de cet ardent promoteur de l'hydroxychloroquine qui, pour reprendre sa formule latine préférée, l'aurait mené du Capitole — épicentre du pouvoir dans la Rome antique — à la roche Tarpéienne, lieu d'exécutions publiques. Hyperactif, rebelle à tout consensus, chantre de la désobéissance, le professeur de médecine serait, selon elles, victime de sa soif éperdue de reconnaissance et guidé par une admiration sans bornes pour ses ascendants, ce qui fonderait son action bulldozer. Cette grille de lecture est-elle suffisante pour comprendre cette « folie » qui se serait emparée du pays, faisant de Raoult — au choix — un *« Saint Louis guérissant les écrouelles »* ou une *« marionnette des Guignols »* ? On peut en douter : une lumière moins crue aurait permis d'éclairer ce portrait de davantage de nuances. **Carole Chatelain**

Raoult, une folie française, Ariane Chemin, Marie-France Etchegoin, Gallimard, 248 p., 18 €

Auxerre (89)

Coraux, trésors des mers
Il existe un massif corallien… dans l'Yonne ! C'est, entre autres, ce qu'explique cette exposition du muséum, constituée pour l'essentiel de vues sous-marines et de diaporamas. Accessible aux enfants, le contenu va de la formation des récifs coralliens aux menaces qui pèsent sur eux.
Muséum, 5, boulevard Vauban, jusqu'au 29 août.
Rens. : 03.86.72.96.40.

Épinal (88)

À bicyclette !
Le baron Karl von Drais a inventé la draisienne. Il a aussi forgé et breveté le mot « vélocipède » en 1818. Depuis, le mot « vélo » n'a pas bougé mais l'engin, si. Le musée de l'Image expose des représentations multiples de la machine, d'abord objet de luxe puis produit de masse. Le vélo est désormais résolument populaire, sujet de toutes les mises en scène et péripéties.
Musée de l'Image, 42, quai de Dogneville, jusqu'au 26 septembre.
Rens. : 03.29.81.48.38.

La Rochelle (17)

Baleines, de Bangudae à La Rochelle
Les secrets des baleines, depuis les gravures préhistoriques du site sud-coréen de Bangudae jusqu'aux recherches actuelles dans les laboratoires de La Rochelle Université.
Muséum, 28, rue Albert-Ier, jusqu'au 5 septembre.
Rens. : 05.46.41.18.25.

Le Havre (76)

Australie-Le Havre, l'intimité d'un lien (1801-2021)
Le 19 octobre 1800, une expédition scientifique part du Havre pour les « terres australes ». C'est le point de départ de cette exposition qui raconte comment le port français est devenu la tête de pont d'échanges interculturels avec l'Australie et l'Océanie. Documents de l'époque côtoient données scientifiques d'hier et d'aujourd'hui, sur la culture aborigène ou la biodiversité.
Muséum d'Histoire naturelle, place du Vieux-Marché, jusqu'au 7 novembre.
Rens. : 02.35.41.37.28.

Paris (75)/Exposition

Fake news : art, fiction, mensonge

C'est un réseau social comme un autre, où un certain Nabil Degioani commente une actualité et où @pierre_317 débat avec @flore_vasque. Mais c'est un réseau social complètement faux, généré de A à Z par un algorithme, qui importe automatiquement de vrais articles publiés en ligne après en avoir altéré le contenu. Aucun membre n'y a jamais rien posté pour la bonne raison qu'aucun n'existe. L'artiste Patrick Suchet a développé ce faux réseau social, WeRfake (« nous sommes faux »), expressément pour l'exposition Fake news : art, fiction, mensonge à l'espace Fondation EDF à Paris. *« Ce que dit l'artiste, c'est que tout peut être faux et venir d'un ordinateur »*, explique Nathalie Bazoche, l'une des commissaires de cette exposition rassemblant des œuvres sur le thème de la fabrication d'informations fausses ou détournées, mais aussi sur celui de leur diffusion. Tout ne relève pas des technologies numériques, comme en témoigne une fausse édition spéciale du *New York Times* de novembre 2008, ou plusieurs créations traitant du rapport aux images. Mais le numérique et les géants du Web fournissent le gros de l'inspiration. ■ **Arnaud Devillard**

MIKHAIL ZLATKOVSKY

« Empty news » de Mikhail Zlatkovsky (2008).

Espace Fondation EDF, 6, rue Juliette-Récamier, jusqu'au 30 janvier 2022. Rens. : 01.40.42.35.35.

Lens (62)

Les tables du pouvoir, une histoire des repas de prestige
Le pouvoir, ses codes et ses hiérarchies se mettent en scène au moment de passer à table. C'est ce que racontent ces pièces (tableaux, bas-reliefs, porcelaines), de la Mésopotamie à la IIIe République française.
Louvre-Lens, 99, rue Paul-Bert, jusqu'au 26 juillet.
Rens. : 03.21.18.62.62.

Lille (59)

Ni méchant ni gentil !
Du *Grand Méchant loup* au *Loup en slip* (une série en bande dessinée), les récits pour la jeunesse ont fini par rendre l'animal sympathique. Mais le loup reste associé à un imaginaire de férocité et de menace. Cette exposition pour les 3-7 ans propose de confronter les

représentations à la réalité.
Musée d'Histoire naturelle, 19, rue de Bruxelles, jusqu'au 9 janvier 2022.
Rens. : 03.28.55.30.80.

Lyon (69)

Jusqu'au bout du monde, regards missionnaires
En 1822, la création à Lyon de l'Œuvre de la propagation de la foi s'accompagne du départ de centaines de missionnaires en Afrique, en Asie, en Océanie, aux Amériques. Ils en ont rapporté des milliers d'objets rituels ou quotidiens que cette exposition détaille ici.
Musée des Confluences, 86, quai Perrache, jusqu'au 8 mai 2022.
Rens. : 04.28.38.12.12.

Paris (75)

Napoléon
Parmi les nombreux événements suscités par le bicentenaire de la mort de Napoléon, cette exposition voit grand. En neuf étapes, elle couvre tout le parcours d'un homme objet d'admiration comme de controverse, de sa formation à son exil sur l'île de Sainte-Hélène. Legs politique, culturel et militaire sont au programme. (Lire aussi notre reportage sciav.fr/893Napoleon)
Grande Halle de la Villette, 211, avenue Jean-Jaurès, jusqu'au 19 septembre.
Rens. : 01.40.03.75.75.

Rire : la science aux éclats !
Le musée de l'Homme explique le rire aux enfants à partir de 6 ans au travers d'ateliers interactifs et ludiques, dont un « duel de rires » très amusant. Il y est question des types de rire, du rire chez les animaux, des chatouilles ou de

Retrouvez toutes les expositions dans notre guide Internet : **sciav.fr/guideexpos**

la moquerie (lire aussi notre reportage sciav.fr/893Rire).
Musée de l'Homme, 17 place du Trocadéro, jusqu'au 2 août Rens. : 01.44.05.72.72.

Rodez (12)

Idoles, l'art des Cyclades et de l'Anatolie à l'âge du bronze
Coproduite avec le musée du Louvre qui prête 65 pièces, cette exposition est un regard croisé sur deux cultures. Elle met avant les liens entre deux régions au travers de leurs représentations de figures humaines et quelle inspiration en ont tirée des artistes du XXe siècle.
Musée Fenaille, 14, place Eugène-Raynaldy, jusqu'au 17 octobre. Rens. : 05.65.73.84.30.

Rouen (76)

Salammbô : Fureur ! Passion ! Éléphants !
Le roman de Gustave Flaubert (1862), situé à Carthage au IIIe siècle avant notre ère, donne lieu à une exposition brassant son vaste héritage, dans divers domaines, des arts graphiques à l'archéologie. L'Institut national du patrimoine de Tunisie a prêté des pièces issues des fouilles du site de Carthage. (Lire aussi notre reportage sciav.fr/893Salammbo)
Musée des Beaux-Arts, esplanade Marcel-Duchamp, jusqu'au 19 septembre. Rens. : 02.35.71.28 40.

Nîmes (30)/Exposition

L'Empereur romain, un mortel parmi les dieux

DANIEL MARTIN/MUSÉE SAINT-RAYMOND-TOULOUSE

Buste d'Auguste, empereur de 27 avant J.-C. à 14 après J.-C.

Tout premier empereur de Rome en l'an 27 avant J.-C., le fils adoptif de Jules César Octave, devenu Auguste, instaure le culte impérial. C'est le thème de cette exposition du musée de la Romanité à Nîmes, montée en partenariat avec le musée du Louvre. En 149 œuvres (reliefs, autels, bustes...), elle illustre le rôle de l'empereur, expose le contexte politico-religieux de l'Antiquité romaine et retrace le parcours d'Auguste. Ce nom était jusqu'alors réservé aux divinités mais ce n'est qu'à sa mort que l'empereur Auguste accèdera au statut divin, durant un rituel funéraire détaillé dans l'exposition. Sous l'Empire romain, le rapport à la religion imprègne la sphère publique comme privée, se manifestant à travers rites et symboles. Le visiteur peut également découvrir les différentes formes que prenait le culte impérial en Gaule narbonnaise, et en particulier à Nîmes (Lire sur notre site Internet notre reportage : sciav.fr/893Auguste). ■ **L. F. et C. H.**
Musée de la Romanité, 16, boulevard des Arènes, jusqu'au 19 septembre. Rens. : 04.48.21.02.10.

Toulouse (31)

Suivi Mission Alpha
Thomas Pesquet est parti pour la Station spatiale internationale (ISS) fin avril. La Cité de l'espace a aménagé un espace immersif imitant une salle de contrôle pour suivre l'astronaute. Un mur d'écrans dévoile l'ISS au quotidien et les diverses missions et des vidéos en disent plus sur les équipes au sol.
Cité de l'Espace, avenue Jean Gonord. Rens. : 05.67.22.23.24.

Vaulx-en-Velin (69)

Astronautes
Produite par la Cité de l'espace (Toulouse), cette exposition invite à expérimenter la vie des astronautes, rythmée par 16 levers et couchers de Soleil par jour dans la Station spatiale internationale (ISS).
Planétarium, place de la Nation, jusqu'au 2 janvier 2022. Rens. : 04.78.79.50.13.

Verdun (55)

« On ne passe pas ! », les fortifications, du système Séré de Rivières à la ligne Maginot
Cette exposition revient sur l'idée reçue, entérinée par la défaite de 1940, selon laquelle la ligne Maginot était un non-sens. Or, elle est l'aboutissement de projets de fortifications remontant à 1872, dans un contexte de réforme du système de défense et de l'armée française.
Mémorial de Verdun, 1, avenue du Corps-Européen, jusqu'au 26 septembre. Rens. : 03.29.88.19.16.

Lyon (69)/Exposition

La Terre en héritage

Rares sont les expositions où peuvent cohabiter un hameçon en os du troisième millénaire avant notre ère et un pulvérisateur de pesticides Vermorel de 1920 ! C'est le pari de La Terre en héritage, au musée des Confluences à Lyon, pour expliquer quel bouleversement a constitué la sédentarisation des humains au néolithique et quelles cascades de conséquences ont abouti à notre monde contemporain de surconsommation, de ressources surexploitées et d'environnements ravagés. En inventant l'élevage et l'agriculture, les populations se fixent, de nouvelles hiérarchies sociales naissent, des routes relient les communautés. La convoitise et les conflits les opposent, aussi. Une scénographie intelligente par zones concentriques donne corps au propos. Par objets interposés, le néolithique dialogue avec la révolution industrielle ou notre XXIe siècle. Éclairant. ■ **A. D.**
Musée des Confluences, 86, quai Perrache, jusqu'au 30 janvier 2022. Rens. : 04.28.38.12.12.

MUSÉE DES CONFLUENCES - BERTRAND STOFLETH

La maquette d'un village néolithique fictif mais archétypal est au centre de l'exposition.

PARTENARIAT SCIENCES AVENIR

Avignon (84)

8es rencontres Recherche et création : la mémoire du futur
Cette série de conférences est organisée par le Festival d'Avignon et l'Agence nationale pour la recherche. Des artistes du monde de la scène et des chercheurs issus de disciplines allant des sciences humaines aux neurosciences réfléchiront sur la manière dont les sociétés s'inventent et se transforment *(lire aussi p. 113)*.
Cloître Saint-Louis, 20, rue du portail Boquier, les 8 et 9 juillet. Renseignements et inscriptions : sciav.fr/893Rencontres

Où sont les planètes ?

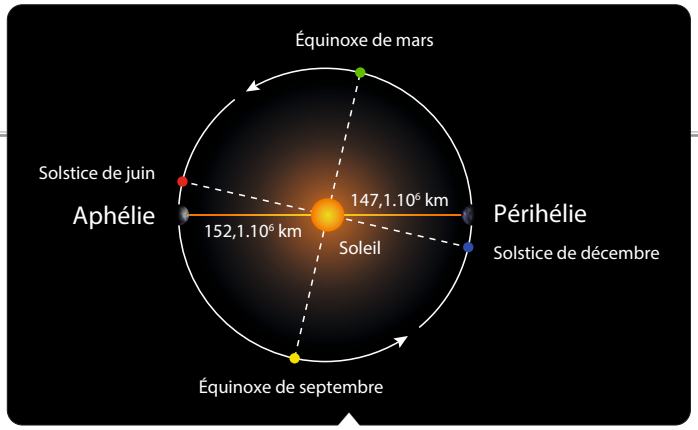
MERCURE
La plus petite des planètes atteint sa plus grande distance angulaire (près de 22°) à l'ouest du Soleil le 4. Son éclat croît tout au long du mois et c'est en 3e semaine qu'elle se trouve dans les moins mauvaises conditions d'observation, visible au petit matin, très bas vers le levant.

VÉNUS
L'étincelante étoile du Berger est observable en soirée vers le couchant et passe sous l'horizon environ 1h30 après le Soleil tout ce mois. Elle quitte le Cancer pour le Lion le 11.

MARS
La planète Rouge n'est plus du tout dans de bonnes conditions d'observation. Peu lumineuse, noyée dans les lueurs du crépuscule le soir, elle est la grande absente de l'été.

JUPITER
La plus grosse des planètes est visible une grande partie des courtes nuits de juillet. Très brillante, elle domine l'horizon sud d'une trentaine de degrés au petit matin. Jupiter se situe actuellement dans le Verseau.

SATURNE
La planète aux anneaux se lève un peu moins d'une heure avant Jupiter, dont elle est éloignée d'environ 20°. Beaucoup moins éclatante que sa cousine géante, elle peut être confondue avec Fomalhaut, une étoile de première grandeur située non loin d'elle durant la 1re moitié de la décennie 2020. Toutefois, Saturne est un peu plus haute dans le ciel.



C'est au début du mois de janvier que la Terre est au plus près du Soleil (147,1 millions de kilomètres) et au début du mois de juillet qu'elle en est le plus loin (152,1).

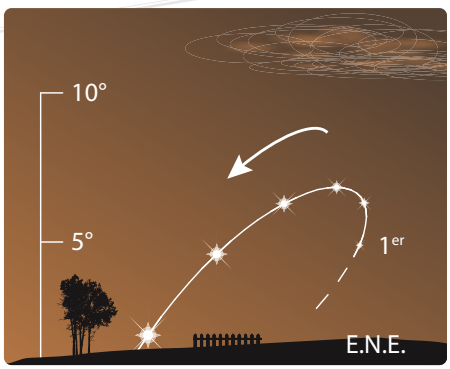
La Terre au plus loin du Soleil

LA TERRE DÉCRIT UNE ELLIPSE autour du Soleil. La distance Terre-Soleil n'est donc pas constante et présente un minimum, le périhélie, et un maximum, l'aphélie. La Terre passera à l'aphélie le mardi 6 à 0h27 et sa distance au Soleil s'élèvera alors à 152100527 km. Ce maximum est atteint alors que l'été règne dans notre hémisphère. Étrange, non ? En fait, les saisons n'ont rien à voir avec la distance Terre-Soleil mais sont dues à l'inclinaison de l'axe de rotation de la Terre. L'hémisphère Nord étant actuellement penché vers le Soleil, la hauteur de ce dernier sur l'horizon et la durée de son éclairement y sont maximales : il fait chaud.

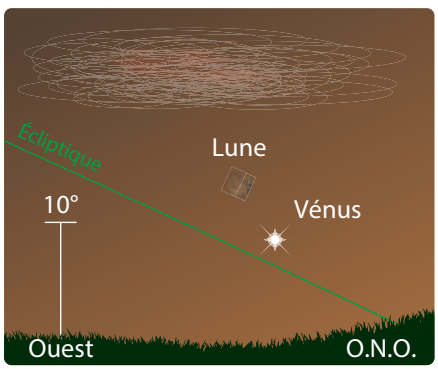
Retrouvez la carte du ciel sur sciav.fr/carteduciel

L'appli du mois

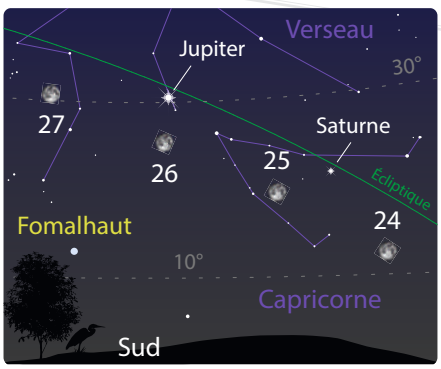
PLANETS AR est une application gratuite en anglais disponible sur le Play Store. Elle utilise la réalité augmentée pour faire apparaître, flottant dans votre salon ou le lieu de votre choix, des modèles en 3 dimensions à haute résolution des planètes de notre système solaire et de leurs principaux satellites. Amusant et spectaculaire !



NOUS SOMMES 30 MINUTES AVANT LE LEVER DU SOLEIL. La position de la planète Mercure est montrée tous les cinq jours, à partir du 1er. Notez l'augmentation régulière de son éclat.



LE 12, 30 MINUTES APRÈS LE COUCHER DU SOLEIL, un fin croissant de Lune surplombera Vénus. Mars, à 0,5° de cette dernière, ne sera sans doute pas détectable même aux jumelles.



DU 24 AU 27, EN FIN DE NUIT, admirez la Lune en phase gibbeuse décroissante passer non loin des planètes Saturne et Jupiter. La scène est représentée vers 4 h du matin.

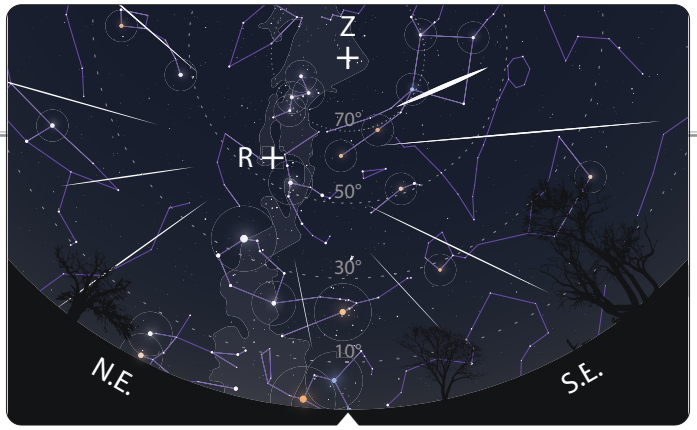
PAR JOHAN KIEKEN

Où sont les planètes ?

MERCURE
La petite planète passe en conjonction supérieure le 1er. Elle s'écarte ensuite de la direction du Soleil jusqu'à s'en trouver éloignée d'une bonne vingtaine de degrés en fin de mois. Toutefois, l'écliptique étant très peu incliné sur l'horizon le soir en cette saison, Mercure demeure très basse et noyée dans les lumières du crépuscule dans nos contrées.

VÉNUS
Comme le mois dernier, l'étoile du Berger est visible en soirée en direction du couchant. Bien qu'elle continue de s'éloigner de la direction du Soleil, passant de 33° à 40° de celui-ci entre le 1er et le 31, elle se couche de plus en plus tôt. La faute en revient principalement à l'écliptique, qui s'abaisse toujours plus sur l'horizon le soir.

MARS
La planète Rouge n'est pas observable ce mois.



Aspect du ciel le 13 vers 4 h du matin. Z est le zénith et R le radiant.

Les Perséides, belles de nuit

DURANT LA NUIT DU 12 AU 13, les Perséides devraient atteindre leur maximum. Il s'agit de l'une des plus spectaculaires pluies d'étoiles filantes de l'année et de la plus connue. Dans un ciel de seconde partie de nuit d'où la Lune sera absente, vous pourrez admirer plusieurs dizaines de météores par heure. Par effet de perspective, ils semblent provenir d'un point, le radiant. La constellation de Persée, où celui-ci est localisé, a donné son nom à cette bien belle pluie d'étoiles filantes estivale.
Notre conseil Assister à une pluie d'étoiles filantes ne demande rien d'autre qu'une chaise longue, des vêtements chauds… et beaucoup de patience !

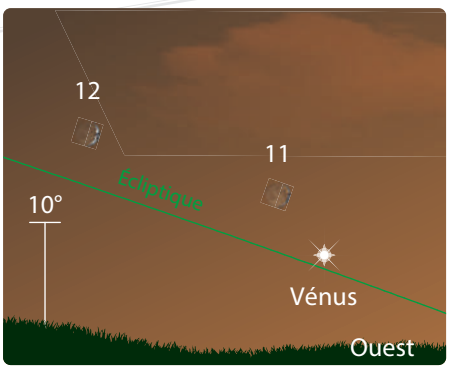
Retrouvez la carte du ciel sur sciav.fr/carteduciel

JUPITER
La planète géante passe à l'opposition le 20. Elle se trouve dans des conditions d'observation optimales, très brillante car au plus près de la Terre et visible toute la nuit. La période est idéale pour braquer vers elle un petit télescope qui révélera ses bandes nuageuses et la célèbre Grande Tache rouge.

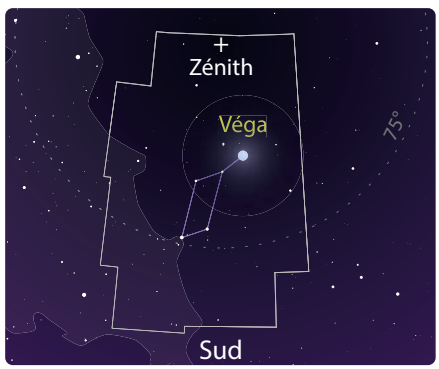
SATURNE
La planète aux anneaux passe à l'opposition le 2. Comme Jupiter, elle est visible toute la nuit. Un instrument d'optique muni d'un grossissement d'au moins 30 fois vous dévoilera son superbe système d'anneaux.

L'appli du mois

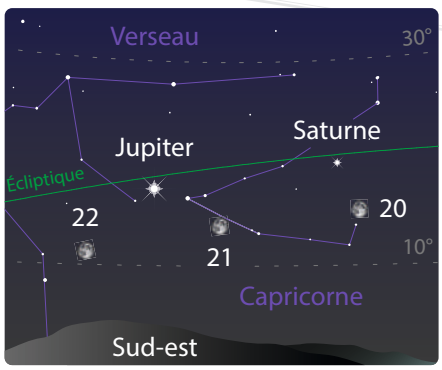
MOONS OF JUPITER est une application gratuite en anglais fonctionnant sous Android. Elle permet de calculer la position des quatre satellites galiléens de Jupiter au moment voulu ainsi que les instants de leurs passages devant la planète, derrière elle et dans son ombre.



LE SOIR DU 11, UNE DEMI-HEURE APRÈS LE COUCHER DU SOLEIL, tentez l'observation d'un très fin croissant de Lune, de sa lumière cendrée et de la planète Vénus, située à 5° de là.



LA CONSTELLATION DE LA LYRE SERAIT PEU VISIBLE si elle n'était l'hôte de Véga, 5e étoile la plus lumineuse du ciel nocturne. Elle est très haute dans le ciel durant la première moitié de nuit.



DU 20 AU 22, UNE LUNE PRESQUE PLEINE rendra successivement visite à Saturne et à Jupiter. Nous sommes ici en début de nuit, alors que les trois astres montent lentement dans le ciel.

QUESTIONS DE LECTEURS

Sur notre site **sciencesetavenir.fr,** la rédaction répond à des questions scientifiques posées par nos lecteurs sur notre page **Facebook.** En voici une sélection.

PALÉONTOLOGIE

Pourquoi « *T rex* » avait-il de tout petits bras avec 2 doigts ?

Gérard C.

Tyrannosaurus rex pouvait atteindre 13 mètres de long pour 4 mètres de hauteur et peser plus de 7 tonnes. Et en comparaison de ces cotes hors norme, ses membres antérieurs de 1 mètre de long environ, peuvent prêter à sourire. Une caractéristique anatomique probablement issue d'un processus évolutif. Chez ses ancêtres, les muscles du cou et de la mâchoire se sont développés aux dépens de ceux des « bras ». Ces derniers auraient perdu leur fonction préhensile au profit de la bouche. Mais avec leurs deux doigts griffus, voire un troisième atrophié, ils pouvaient probablement maintenir leurs proies avant de les croquer à l'aide de leurs puissantes mâchoires. ■

Joël Ignasse @IgnasseJ

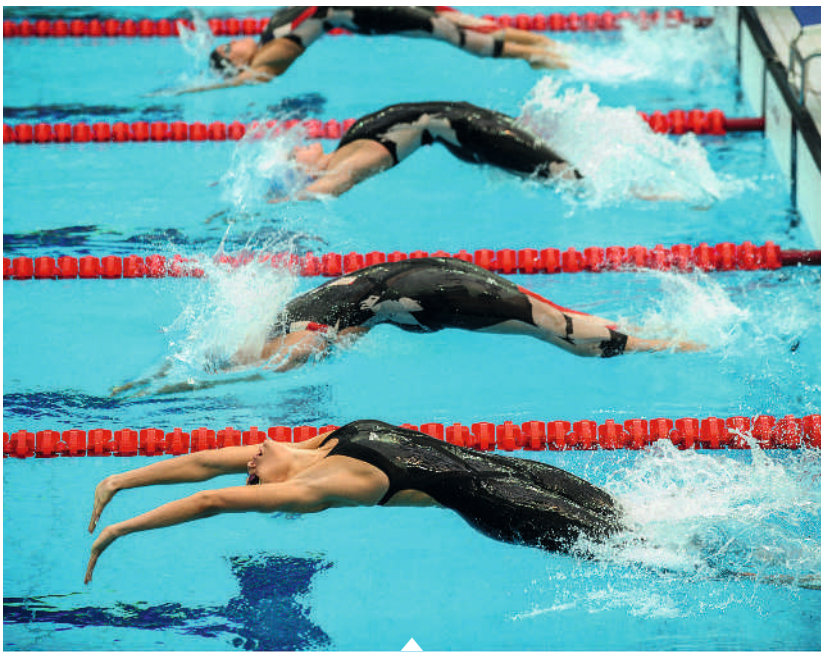
PSYCHOLOGIE

Pourquoi a-t-on parfois envie de mordre les gens qu'on aime ?

Clémence B.

En effet, qui n'a jamais été tenté de pincer ou mordre les joues d'un adorable bébé ! C'est que parfois, quand une émotion positive devient très intense, une émotion « négative » survient, faisant office de valve de sécurité face au trop-plein d'émotion : un phénomène appelé « l'agressivité mignonne ». Pour le mettre en évidence, en 2018, deux chercheuses de l'université de Californie (États-Unis) ont placé des électrodes sur la tête de 54 adultes et leur ont montré des images de bébés et d'animaux « mignons ». Submergé par la tendresse, le système de récompense a été très actif, preuve d'émotions positives… mais les volontaires déclaraient ressentir aussi une pointe d'agressivité. ■

Anne-Sophie Tassart @TassartAS



MARTIN/ PRESSESPORTS

Aux jeux Olympiques de Pékin, en 2008, 25 records du monde de natation avaient été battus.

PHYSIOLOGIE

Les records sportifs s'arrêteront-ils de tomber un jour ?

Mouhammad Abdoullah S.

« *Les limites sportives stagnent ou ne progressent que très peu, voire déclinent dans certains sports comme le lancer du poids, ce qui suggère que nous sommes en train de parvenir au bout des capacités physiologiques de l'espèce humaine* », répond Geoffroy Berthelot, bio-informaticien à l'Institut de recherche biomédicale et d'épidémiologie du sport (Irmes), qui a analysé quelque 3300 records olympiques. « *Nos modèles mathématiques indiquent que 50 % des records olympiques atteindront 99,95 % de leur limite supposée en 2027, si les conditions de pratique demeurent globalement inchangées. Et cela se vérifiera dans toutes les disciplines vers 2070* », annonce-t-il. Comment expliquer une telle stagnation ? Pour François Desgorces, physiologiste à l'Irmes, la raison est l'exploitation de tous les facteurs de progrès depuis la fin du XIXe siècle. « *La condition physique et l'état de santé des sportifs ont été optimisés, les aspects stratégiques et mentaux explorés, la détection précoce des futurs athlètes mise en place, l'utilisation de nouveaux matériaux — comme les perches en fibre de carbone — systématisée* », explique l'expert. Sans oublier que quantité de records olympiques ont été battus durant la guerre froide, période marquée par le dopage d'État. Dès lors, comment trouver encore des marges de progression ? Grâce aux progrès technologiques, selon les experts de l'Irmes *(lire aussi pp. 60-61)*. On se souvient par exemple que l'utilisation de combinaisons de natation en polyuréthane en 2008 et 2009 avait permis d'aligner de nombreux records. Rendez-vous à Tokyo pour voir quels records seront battus. ■

Franck Daninos @fdaninos

REJOIGNEZ **LE PREMIER PÔLE SCIENTIFIQUE** DE LA PRESSE FRANÇAISE

SCIENCES ET AVENIR La Recherche

LE MENSUEL

LE HORS-SÉRIE

UNE INFORMATION THÉMATIQUE CLAIRE ET VIVANTE

Chaque trimestre, une thématique étudiée sous tous ses aspects, en compagnie des plus grands spécialistes.

39 JOURNALISTES PASSIONNÉS

19 PARUTIONS PAR AN

2,5 MILLIONS DE LECTEURS

2,6 MILLIONS DE SOCIO-NAUTES

7,3 MILLIONS DE VISITEURS SUR LE SITE

3 APPLICATIONS IOS/ANDROID

UNE VISION COMPLÈTE DE LA SCIENCE

Chaque mois, toute l'actualité scientifique, dans un langage accessible.

Retrouvez toutes nos offres d'abonnement sur sciencesetavenir.fr

La Recherche

LE TRIMESTRIEL

LA RÉFÉRENCE INCONTOURNABLE

Chaque trimestre, un panorama complet en 150 pages de la recherche scientifique.

Retrouvez toutes nos offres d'abonnement sur larecherche.fr

2 SITES POUR DES INFOS EXCLUSIVES

TOUTE L'ACTUALITE SCIENTIFIQUE QUOTIDIENNE

2 sites au service de l'actualité scientifique, de la plus accessible à la plus innovante. **Des articles quotidiens** pour être à la pointe de la science.

Vos questions en direct aux chercheurs chaque jeudi de 17H30 à 19H sur https://www.twitch.tv/sciencesetavenir/

plus de 2,2 millions de fans !

plus de 160 000 followers

163 000 instagrammeurs

Plus de 7 000 abonnés professionnels

plus de 17 000 abonnés

PROMINT-SCA

Énigmes, logique et mathématiques

Retrouvez chaque mois des problèmes ludiques pour solliciter votre curiosité. Solutions dans le prochain numéro.

Autoréférences hexadécimales

Le système hexadécimal (à base 16 et non 10 comme le système décimal habituel) est utilisé couramment en informatique. Il se compose des nombres décimaux de 0 à 9 suivis des majuscules de A à F. Dans cette grille, les valeurs (gros chiffres) des deux colonnes de gauche indiquent le nombre d'occurrences de chaque chiffre (de 0 à F) présents dans l'ensemble de la grille. Le coin en haut à gauche de ces 16 cases indique de quel chiffre il s'agit.
Le problème consiste à compléter la grille de façon cohérente. L'emplacement des chiffres dans les colonnes de droite (bleues) est indifférent.

0 2	8 3	6	E	4		3	E
1 1	9 2	8	F	E	6	E	4
2 3	A 0	5	4	3	6	6	E
3 8	B 3			6	3	6	7
4 6	C 3	C	B	6	C	9	6
5 4	D 0	7	C			2	B
6 F	E 6	5	6		7	6	5
7 4	F 3	B	8	7	E	4	6

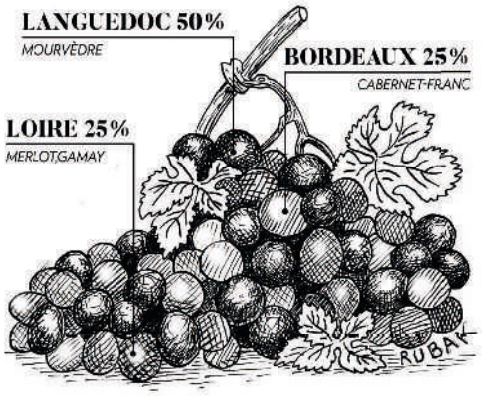
Quatre frères

Ils sont quatre frères : André, Benoît, Charles et Denis. L'un un est gérant d'hôtel qui gagne le tiers de ce que gagne le manager sportif, qui est le tiers de ce que gagne le marchand de biens, qui est le tiers de ce que gagne l'avocat.
Charles gagne plus qu'André et Denis gagne 12 000 € de moins que Benoît.
Saurez-vous retrouver la profession de chacun des frères ?

Anaphrase

Qui, pour exister, inventa tel pavé éclatant ?

Réorganisez l'ordre des lettres de cette phrase, sans en retrancher ou ajouter une seule, pour formuler en bon français un précepte bien connu.



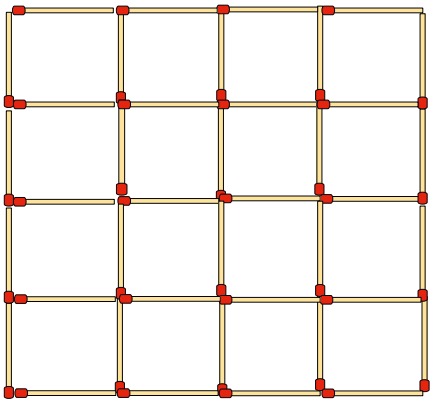
Cépages et assemblages

Un caviste a décidé de créer sa propre production en procédant à des mélanges particuliers. À cette fin, il possède trois tonneaux de 100 litres, un de 50 litres et un de 25 litres. Les trois premiers sont pleins, l'un de vin de Loire, le deuxième de Bordeaux et le troisième du Languedoc. Les deux plus petits sont vides.

Pour produire trois qualités de vin différentes, le caviste réalise ses mélanges en utilisant ses cinq tonneaux et leur contenu exclusivement. Après six opérations, les trois tonneaux de 100 litres sont à nouveau pleins. L'un contient 50 % de vin de Loire, 25 % de vin du Languedoc et 25 % de Bordeaux. Le deuxième, 50 % de Bordeaux, 25 % du Languedoc et 25 % de Loire. Et enfin le troisième, 50 % de Languedoc, 25 % de Loire et 25 % de Bordeaux.
Comment a-t-il procédé ?

Allumettes

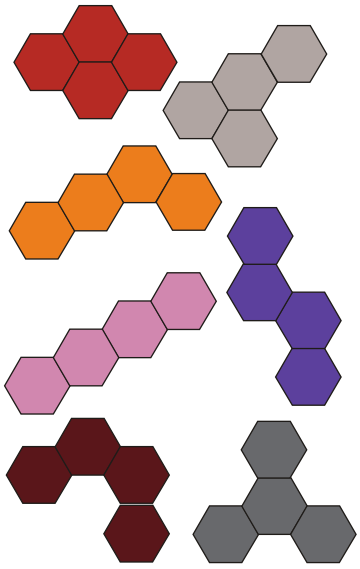
Combien suffit-il d'ôter d'allumettes pour qu'il ne subsiste aucun carré ?

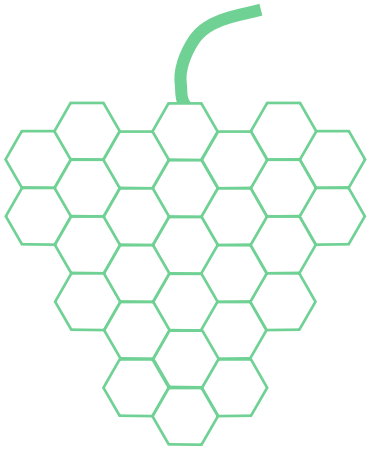


Énigmes Créalude, Pierre Berloquin, Jean-Thierry Garrigues

La grappe et les grappillons

On dispose de sept grappillons de quatre grains de raisin, représentés par des hexagones. Remarque : ce sont les sept assemblages possibles de quatre hexagones assemblés par un côté.

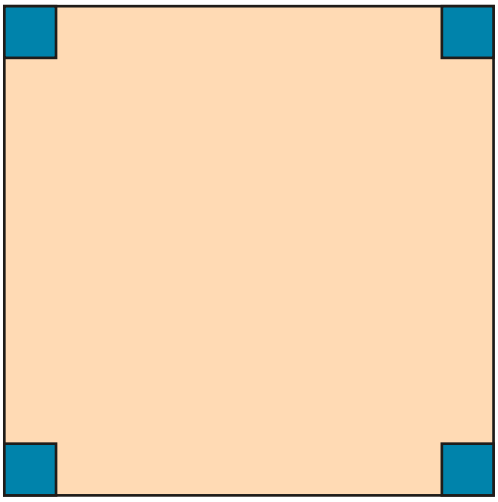




Placez ces sept grappillons dans la grappe représentée ci-dessus.
Note : si besoin est, on a le droit de retourner un grappillon.

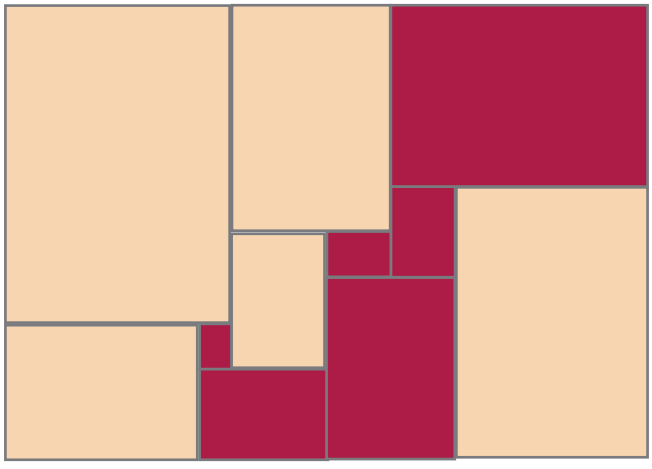
Planter des vignes

Ce vigneron vient d'acquérir un beau domaine carré de 450 mètres de côté, bordé, aux quatre coins, de quatre bâtiments carrés de 50 mètres de côté.
Il veut y planter une vigne, qu'il choisira d'un excellent cépage, dans le terrain carré le plus grand possible qu'il puisse délimiter à l'intérieur de son domaine.
Quelle sera l'aire, en hectares, de sa vigne ?



Cuvée Rec Tangle

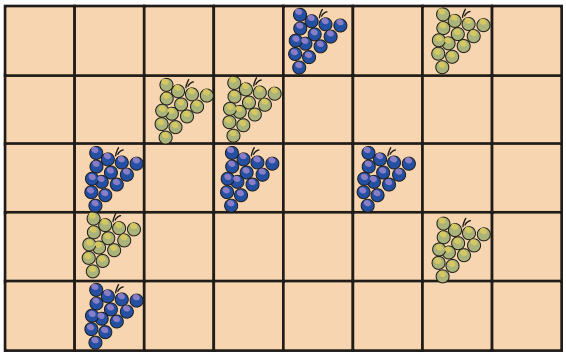
Les vignes du désormais célèbre grand cru Rec Tangle sont découpées en parcelles rectangulaires, toutes différentes mais toutes semblables (le rapport de la longueur sur la largeur est toujours le même).
Celles du cépage pinot noir sont en rouge sur le dessin. Leurs aires, rangées dans l'ordre croissant, mesurent 1, 2, 4, 8, 16 et 32 hectares. Toutes les autres parcelles (en jaune sur le dessin) sont du cépage sauvignon blanc.



Combien les cinq aires de sauvignon blanc mesurent-elles ?

Une vigne en héritage

Pierre et Paul ont hérité d'une vigne et décident de se la partager. Pierre ne veut que des raisins blancs et Paul que les raisins rouges.

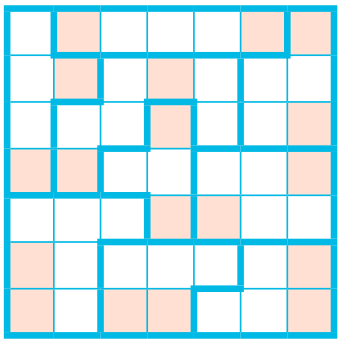


Comment peuvent-ils diviser le terrain rectangulaire ci-dessus en deux parties identiques (de même taille et de même forme), de sorte que l'une des parties contienne tous les ceps de raisins blancs et l'autre les ceps de raisins rouges ?

Énigmes créées par Élisabeth Busser, Gilles Cohen, Michel Criton, Jean-Louis Legrand et Bernard Myers.
www.tangente-mag.com

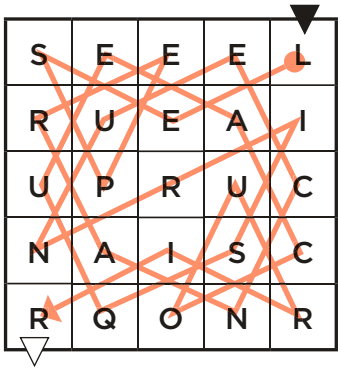
Solutions des jeux parus dans « Sciences et Avenir-La Recherche » n° 892, juin 2021

Noronorer ?



Citation cavalière

L'espérance, un risque a courir :
Georges Bernanos.

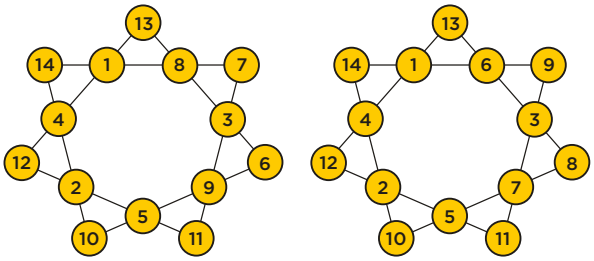


Rock Logique

Le bassiste, ayant obtenu le plus de contrats, n'est donc pas Antoine qui en a moins que Basile. Pour la même raison, mais en sens inverse, Basile n'est pas le guitariste. Ni Didier, ni Charles ne sont saxophonistes, le premier ayant signé moins de contrats que le second, on en déduit que Didier n'est pas le bassiste et que Charles ne joue pas de la guitare. Ce dernier ayant moins de contrats que le saxophoniste ne peut être le bassiste: il joue du synthétiseur. Didier, ni bassiste, ni saxophoniste, ni joueur de synthé, est le guitariste. Antoine, ni bassiste, ni guitariste, ni joueur de synthétiseur, est le saxophoniste. Basile est l'heureux bassiste.
Donc: Antoine = saxophone, Basile = basse, Charles = synthétiseur, Didier = guitare.

Étoile Magique

Deux solutions :



Logique numérique

Deux solutions :
Dans ce rectangle, deux lettres sont utilisées exactement DEUX fois (o et r) ;
dans ce rectangle, deux lettres sont utilisées exactement QUATRE fois (a et n).

A vos côtés, pour votre santé !

Depuis 1992, nous vous offrons le meilleur des plantes, vitamines et minéraux, pour une santé chaque jour renforcée !

OFFRE DÉCOUVERTE dès **5€**

LABORATOIRES ILAPHARM

www.ilapharm.com

**Offre valable 1 mois, 1 seule fois, réservée aux nouveaux clients. Non cumulable avec d'autres offres promotionnelles en cours.*

Jambes légères
VIGNE ROUGE BIO

Active votre circulation sanguine pour des **jambes légères et confortables**.

5€ 45 gélules ~~10,50€~~

Mobilité articulaire
HARPAGOPHYTUM BIO

Conservez des **articulations souples, mobiles** et en bonne santé. *(3)*

5€ 45 gélules ~~10,70€~~

Brûle-graisse
GUARANA BIO

Boostez **l'élimination des graisses et la perte de poids**. *(1), (2), (5).*

6€ 45 gélules ~~11,40€~~

Libido
MACA BIO

Source d'énergie et aphrodisiaque, elle **stimule le désir sexuel**.

6€ 45 comprimés ~~12,40€~~

Os et articulations
SILICIUM ORGANIQUE et Vitamine C

Vitamine C (formation du collagène) et **Silicium** (constituant naturel) pour vos os et cartilages.

7€ 45 gélules ~~14,70€~~

Sommeil
PASSIFLORE BIO

Calmante et apaisante, elle procure **un sommeil de qualité**. Ni accoutumance, ni somnolence.

6€ 45 gélules ~~11,10€~~

Prostate
HUILE DE COURGE BIO

Aide au bon fonctionnement de la **prostate** et de la **vessie**. Pour un **bon confort urinaire**.

5€ 45 capsules ~~10,80€~~

Fatigue nerveuse
MAGNÉSIUM MARIN et B6

Il contribue au bon fonctionnement de votre **système nerveux**.

*(6). Allergène : **poisson**.*

6€ 45 gélules ~~10,70€~~

Cholestérol
AIL BIO

Il aide au maintien d'un taux normal de cholestérol.

Régulez votre cholestérol ! *(8)*

5€ 45 gélules ~~10,80€~~

Vigueur sexuelle
SAFRAN BIO

Le Safran Bio aide à **améliorer l'érection** et **stimule le désir sexuel**.

(2), (4).

7€ 30 gélules ~~15,60€~~

Vitalité - Immunité
GINSENG SIBÉRIEN BIO

Stimulant et **énergisant**, il aide au bon fonctionnement du **système immunitaire**.

6€ 45 gélules ~~11,70€~~

Foie - Draineur
ARTICHAUT - RADIS NOIR BIO

L'artichaut favorise le **fonctionnement du foie et détoxifie**.

6€ 10 ampoules ~~13,50€~~ *(1)*

Capacité sexuelle
TRIBULUS

Elle favorise le **désir**, la **capacité** et les **performances sexuelles** et participe à la bonne santé des organes reproducteurs.

7€ 60 gélules ~~15,60€~~

Un esprit vif
GINKGO BILOBA BIO

Arbre de jouvence, il favorise votre circulation cérébrale pour **un esprit vif et alerte**.

(2), (8).

6€ 45 gélules ~~11,00€~~

Articulations
FRÊNE BIO

Pour le bon fonctionnement des articulations.

Gardez le plaisir de bouger !

5€ 45 gélules ~~10,60€~~

Défenses naturelles
ÉCHINACÉA BIO

Aide au bon fonctionnement du système de **défenses naturelles et respiratoire** (bouche et gorge).

6€ 45 gélules ~~11,00€~~

Vos 3 Cadeaux

LA MONTRE
Homme ou Femme au choix

HOMME FEMME

une montre au choix **OFFERTE**

Modèle Homme : *bracelet marron aspect croco ; Long. environ 24 cm.*
Modèle Femme : *bracelet blanc, Long. environ 23 cm ; mouvements à Quartz.*

+

Les Frais de Port
Dès 15€ d'achat **OFFERTS**

0€

+

dès 5€ Tous vos produits
ÉCONOMISEZ PLUS DE 50%

Harpagophytum BIO	~~10,70~~	5,00€
Artichaut - Radis Noir	~~13,50~~	6,00€
Vigne Rouge BIO	~~10,50~~	5,00€
Silicium Organique & Vit. C	~~14,70~~	7,00€
Tribulus	~~15,60~~	7,00€
LA MONTRE Homme ou Femme		OFFERTE
Frais de port	~~5,80~~	OFFERTS
TOTAL	~~70,80~~	30,00€

(1) Déconseillé aux enfants de moins de 12 ans. (2) Déconseillé aux femmes enceintes ou allaitantes. (3) Déconseillé en cas d'ulcère gastrique ou duodénal et de calculs biliaires. (4) Ne pas associer avec des anti-dépresseurs. (5) Contient de la caféine (45 mg par jour). (6) Déconseillé aux insuffisants rénaux. (8) Ne pas associer avec des anti-coagulants. Les éventuelles traces d'allergènes sont indiquées sur l'étiquetage des produits.

OFFRE DÉCOUVERTE SANS ENGAGEMENT - BON DE COMMANDE

Vos coordonnées ☐ Mme ☐ Mr

Nom, Prénom : .....

Adresse : .....

.....

Code Postal : _____ Ville : .....

Votre date d'anniversaire : __/__/19__

E-mail* : .....

pour recevoir les **Newsletter ILAPHARM** ☐ **OUI** ou ☐ **NON**

et des **partenaires d'ILAPHARM** ☐ **OUI** ou ☐ **NON** **Recommandé pour la livraison.*

Choisissez votre mode de paiement

☐ **Par carte bancaire (débit immédiat uniquement) :** Signature :

N° _____

Date d'expiration : __/__

Chiffres inscrits au dos de ma carte : ___

☐ **Par chèque, je choisis :** ◯ débit immédiat ◯ débit dans 1 mois à l'ordre des Laboratoires ILAPHARM

NOM DU PRODUIT	RÉF.	QTÉ	PRIX RÉDUIT	TOTAL
Vigne Rouge BIO	PVRB45		5€	
Harpagophytum BIO	PHAB45		5€	
Guarana BIO	PGUB45		6€	
Maca BIO	PMAB45		6€	
Silicium Organique et Vitamine C	PSV45		7€	
Passiflore BIO	PPAB45		6€	
Huile de Courge BIO	PPCB45		5€	
Magnésium Marin et B6	PMM45		6€	
Ail BIO	PAIBN45		5€	
Safran BIO	PSFB		7€	
Ginseng Sibérien BIO	PGSB45		6€	
Artichaut - Radis Noir BIO	PXRAB		6€	
Tribulus	PTR		7€	
Ginkgo Biloba BIO	PGBB45		6€	
Frêne BIO	PFNB45		5€	
Echinacéa BIO	PECB45		6€	
☐ Je reçois **GRATUITEMENT** ma **MONTRE** ☐ Homme ou ☐ Femme et mon **CATALOGUE**				**OFFERTS**
☐ Ma commande atteint 15€, **j'économise 5,80€ sur les frais de port**				**OFFERTS**
☐ Ma commande est inférieure à 15€, **je rajoute 5,80€**				
CODE PRIVILÈGE : **CS425**			**TOTAL À RÉGLER**	..... €

Laboratoires ILAPHARM SAS au capital de 38 112€, RCS Versailles B 384 620 878 - 27 rue de Solférino - 92100 Boulogne. Tél Sce client 01.49.09.11.11. Offre et frais de livraison valables en France Métropolitaine. En cas d'indisponibilité de votre cadeau, nous pourrons le remplacer par un autre d'une valeur similaire. Pour recevoir votre cadeau sans commander, joignez un chèque de 5,80€ de frais, envoi sous 90 jours. Photos non contractuelles. Pour exercer les droits que vous confère le Règlement européen sur la protection des données, veuillez nous écrire, téléphoner au 01.49.09.11.11 ou consulter nos conditions générales de vente sur notre site internet. Vous bénéficiez des dispositions de la garantie légale de non-conformité et des vices cachés dont la mise en œuvre et le contenu sont prévus aux articles L. 217-4 et suivants du Code de la consommation. Vous disposez d'un délai de rétractation de 30 jours après livraison de votre commande pour retourner les produits pour remboursement ou échange sans pénalités, sauf frais de retour. Traitée dans les 24h suivant sa réception, vous recevez votre commande après 72h d'acheminement environ. Les Laboratoires ILAPHARM adhèrent à la fédération du e-commerce et de la vente à distance (FEVAD) et au service de médiation du e-commerce (60 rue de la Boétie - 75008 Paris-relationconso@fevad.com). Pour votre santé, mangez au moins 5 fruits et légumes par jour, consultez www.mangerbouger.fr. Conditions générales de vente : www.ilapharm.com/conditions-generales-de-vente.html Si vous ne souhaitez pas recevoir les offres des Laboratoires Ilapharm, cochez cette case ☐ ou écrivez-nous. Si vous ne souhaitez pas recevoir les offres de nos partenaires (commerciaux ou organismes) : cochez cette case ☐ ou écrivez-nous.

NOS GARANTIES :

PAYEZ DANS 1 MOIS

*Envoyez votre **réglement par chèque**, il ne sera encaissé que dans 1 mois.*

Charte Qualité fevad — synadiet — Traitement Rapide 24h COLIECO

POUR COMMANDER :

Par internet :
www.ilapharm.com

Par téléphone :
01 49 09 11 11
Du lundi au vendredi : 9h-13h et 14h-18h

Par courrier :
Laboratoires ILAPHARM
C/O BSL, BP 60475, 35171 BRUZ CEDEX

Les contenants en plastique (PE, PP, PEHD), verre, papier, carton, les couvercles des flacons plastiques ainsi que tous les documents papiers sont recyclables.

Un conseiller face à vous, c'est toute une banque à vos côtés.

Conseillers, experts patrimoniaux, financiers ou immobiliers, gestionnaires de portefeuilles : quels que soient vos projets, nous mobilisons tous nos experts pour vous aider à les réaliser.

C'est sans doute cet engagement et cette implication qui nous ont permis d'être récompensés en 2020 pour la qualité de notre accompagnement dans la réalisation de vos projets*.

Rendez-vous sur hsbc.fr/expert

LES TROPHÉES DE LA BANQUE 2020

SATISFACTION CONSEILLER PROJET

par meilleurebanque.com

HSBC

*Les Trophées de la qualité bancaire sont décernés par meilleurebanque.com (société du Groupe meilleurtaux.com). L'édition 2020 de cette étude a été réalisée online en association avec l'Institut Opinion Way, entre le 27 septembre et le 23 octobre 2019, sur un échantillon de 5035 Français bancarisés et représentatifs de la population française âgée de 18 ans et plus.

HSBC Continental Europe - Société anonyme au capital de 491 155 980 euros - SIREN 775 670 284 RCS Paris. Siège social : 38 avenue Kléber 75116 Paris. Banque et intermédiaire en assurance immatriculé auprès de l'ORIAS (Organisme pour le Registre des Intermédiaires en Assurance - orias.fr) sous le n° 07005894. Crédit photo : Getty Images.